

OFFSHORE LØFTEKURV FOR 20 TONN

OFFSHORE LIFTING BASKET FOR 20 TONS

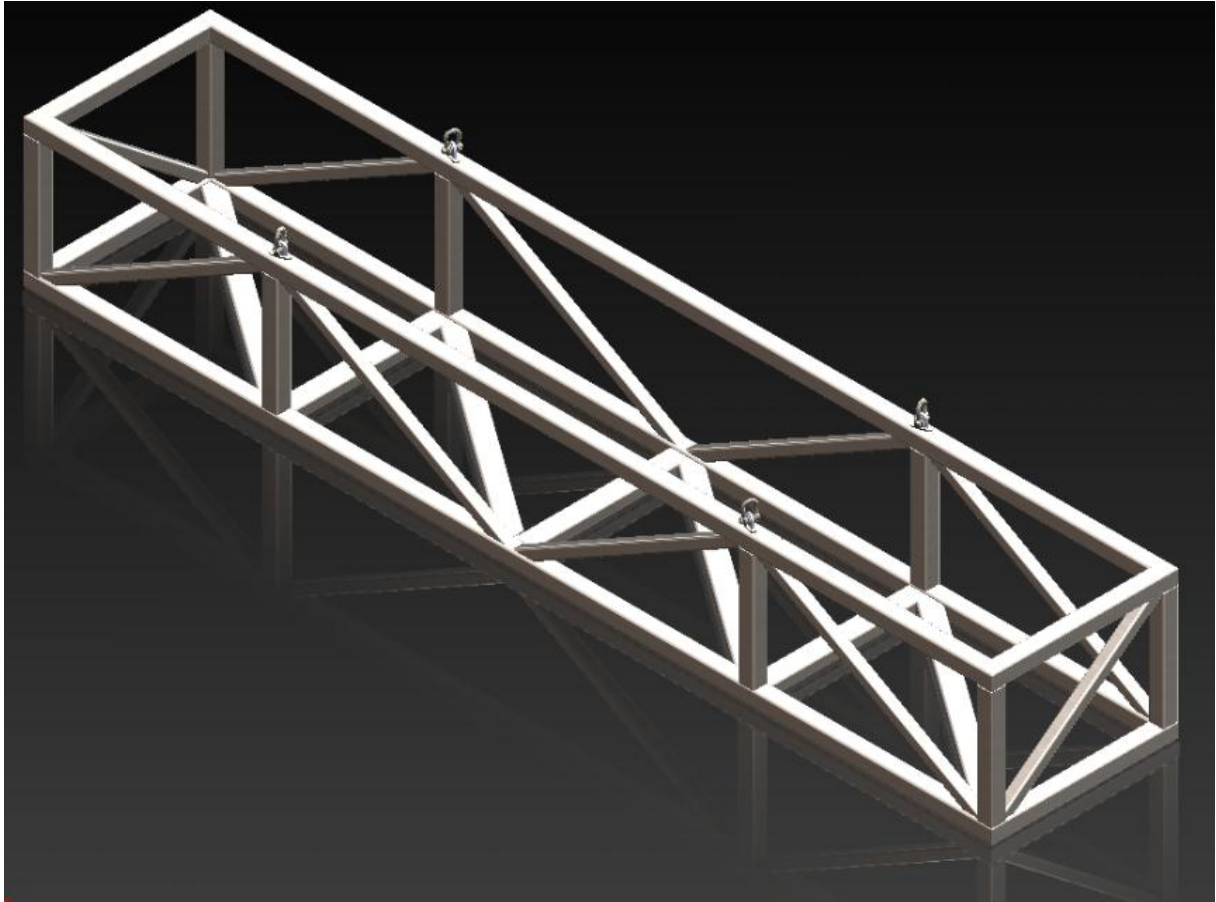
MAGNUS MØLLEGAARD

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPGAVE 30 STP. 2012



Offshore løftekurv for 20 tonn

Magnus Møllegaard



Gradsoppgave

Maskin- prosess og produktutvikling



Institutt for matematiske realfag og teknologi

Universitet for miljø og biovitenskap

2012

FORORD

Dette er en rapport for den avsluttende prosjektoppgaven som er en del av masterprogrammet for industriell økonomi med fordypning i maskin, ved Universitetet for Miljø og Biovitenskap. Prosjektet er gjennomført våren 2012 med et omfang på 30 studiepoeng.

Oppgaven omhandler konstruksjon og design av en løftekurv for offshoreoperasjoner, med en tillatt last på 20 tonn. Kurven har som formål å løfte større stålprofiler ved for eksempel dekomponering av oljeplattformer. Ideen til oppgaven kommer fra førsteamanuensis Geir Terjesen.

Gjennom hele min studie har jeg alltid synes konstruksjonsteknikk har vært spennende og morsomt. At det omhandler offshore gjør det desto mer interessant, men tanke på all virksomheten som pågår i olje og gass industrien nå til dags, samt av egen interesse. Prosjektoppgaven er relevant i forhold til de jobbene jeg har søkt, noe som gjør det ekstra motiverende for å lære og å oppnå et godt resultat. Oppgaven i sin helhet har gitt en bedre forståelse av prosjektarbeid og bruken av ulike regelverk og forskrifter, noe som kommer godt med da arbeidslivet vil finne sted innen rimelig tid.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til førsteamanuensis og hovedveileder, Geir Terjesen, for oppgaven og ikke minst for god hjelp og støtte, samt Odd-Ivar Lekang for gode råd. I tillegg må jeg få takke Bjørn Brenna fra UMB, Thonny Borge fra Ruukki, Hans Arne Mariasen fra Rainpower, Steinar Hernes fra DNV, Svein Erik Hermansen fra Certex, Amund Moen fra AF Decom og stipendiat Anders Myhr.

Ås, 4.juni 2012

Magnus Møllegaard

SAMMENDRAG

I denne masteroppgaven er det beskrevet et forslag til utregning og design av en 20 tonn løftekurv for offshoreoperasjoner, primært for løft av stålprofiler ved dekomponering av oljeplattformer. Ideen til oppgaven kommer fra førsteamanuensis Geir Terjesen. Instituttet for matematisk realfag og teknologi, IMT, var interessert i å vite hva som fantes av slike konstruksjoner og hvilke forskrifter som er gjeldene.

Prosjektet begynte med å studere ulike standarder som skulle benyttes i oppgaven, samt et møte med Øistein Riber fra Datek AS som har lang erfaring fra løfteutstyr. Beregningene av kurven ble påbegynt relativt tidlig da dette var hovedtema for oppgaven, som også skulle vise seg og ta mer tid en først antatt. Rammestrukturen ble laget i Ansys Classic ved å legge inn kommander i notepad, slik at man enkelt kan gå inn og endre struktur, profilstørrelse osv. Det er gjennomført FEM-analyser av ulike rammestrukturer med ulike profilstørrelse for å optimalisere kurvens funksjonalitet som er gjeldende i henhold til DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3. Det er utført håndberegninger for å verifisere resultatene fra Ansys Classic og det er laget maskintegninger og renderte bilder fra 3D – modell programmet Solid Works.

Kurven består av kvadratiske- og rektangulære hulprofiler i vanlig konstruksjonsstål S355J2H og er dimensjonert med en lastfaktor lik 2,5 i henhold til DNV 2.7-1. Samtlige hulprofiler er satt sammen ved en kilsveis med a-mål lik 7 mm bortsett fra i hjørnene på kurven hvor det er benyttet en butt -sveis. Kurven løftes fra fire løfteører som er plassert ved $\frac{1}{4}$ og $\frac{3}{4}$ av kurvens lengde. Løfteørene er festet til en plate hvor det er benyttet K-sveis for å styrke utmattingsegenskapene, mens platen er sveiset til profilet med en kilsveis. Kurven har en egenvekt på sirka seks tonn.

Abstract

This thesis describes a pre-sale to the calculations and design of a 20 ton lift basket for offshore operations, primarily for the lifting of steel profiles by decomposition of the oil platforms. The idea for the thesis comes from associate university professor Geir Terjesen. The department of Mathematical Sciences and Technology, IMT, was interested in knowing the existing in these kinds of constructions, and which regulations apply.

This project started up by studying different kinds of standards that include this thesis. It was also a meeting with Øistein Riber from Datek AS, who has extensive experience with lifting equipment. The dimensioning started up pretty early due to the importance of the thesis. It would prove to take more time than initially anticipated. The primary structure was at first calculated in Ansys Classic by using commands in the input file. Using this method makes it easy to change the frames structure, beam size and so on. FEM analyzing of different frame structure and beam dimension has been consistent to optimize the function of the basket. The basket is in accordance with DNV 2.7-1 and DNV 2.7-3. Hand calculations have been executed to verify the results from Ansys Classic. It is made machine drawing and rendering images from 3d - model program Solid Works.

The basket is made out of rectangular and square hollow sections with regular structural steel, S355J2H. The primary structure has been dimensioned with a design load of 2.5, in accordance to DNV 2.7-1. Every corner of the frame are butt welded, the remaining joint are fillet welded with a throat thickness of 7 mm. The pad eyes are placed at $\frac{1}{4}$ and $\frac{3}{4}$ of the total length. The pad eye is supported by a steel plate with a thickness of 20 mm. The pad eye is welded to the plate by a double-bevel butt joint, to enhance fatigue. The basket has a tare weight about six ton`s.

INNHALDSFORTEGNELSE

Innhold	Side
FORORD	3
SAMMENDRAG	4
Abstract	5
INNHALDSFORTEGNELSE	6
1 INNLEDNING	8
1.1 Bakgrunn.....	8
1.1.1 Problemstilling	9
1.2 Målsettinger og begrensinger	9
1.3 Kvalitetssikring.....	11
1.4 Definisjoner	11
1.5 Symboler og terminologi	13
2 BESKRIVELSE	18
2.1 Kravspesifikasjoner.....	18
2.2 Forskrifter og standarder	21
2.3 Formgiving og design.....	23
3 Grunnlagsberegninger	25
3.1 Statiske krefter, momenter og dimensjonerende spenning	25
3.1.1 Dimensjonerende spenninger	26
3.1.2 Beregning av løfteøret og valg av sjakkel	30
3.1.3 Beregning av sveiseforbindelser	35

3.2	Dynamiske belastninger og sikkerhet mot utmatting	43
3.3	Knekking	47
4	ELEMENT- OG LØSNINGSVALG	51
4.1	Komponenter.....	51
4.1.1	Ferdig fabrikerte	51
4.1.2	Designede komponenter	54
4.2	Hovedelementer.....	56
5	STRUKTUROPTIMERING (ANSYS)	62
5.1	Strukturspenninger.....	62
5.2	Materialvalg.....	65
6	Produksjon og sammensetning	67
7	PRESENTASJON AV LØSNING (3D)	69
7.1	Visualisering.....	69
7.2	Material- og produksjonskostnader	74
7.3	Forbedringer	76
8	KONKLUSJON OG ANBEFALINGER	77
8.1	Konklusjon og prosessdiskusjon	77
8.2	Videre arbeid	79
9	LITTERATURREFERANSER	80
10	VEDLEGG	83

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Grunnlaget for petroleumsindustrien ble dannet da verdens første oljebrønn ble boret av Edwin Drake i Pennsylvania i 1858. [1] Dette grunnlaget skulle vise seg å bli en gigantindustri med enrom påvirkning på verdensøkonomien. På 1960-tallet vokste interessen for utvinning av olje og gass på norsk sokkel og i 1965 inngikk Norge, Storbritannia og Danmark avtale om deling av kontinentalsokkelen etter midtlinjeprinsippet før letevirksomheten kom i gang. 15. juni 1971 strømmet den første oljen opp fra Ekofisk, og Norge var for alvor en oljenasjon og regne med.[2] Det finnes i dag flere hundre oljeplattformer på norsk sokkel, og med tiden vil olje og gass reservoaret tømmes og utvinningen avsluttes. I følge OSPAR- konvensjonen som kom i 1998/1999, skal alle installasjoner tas til land når de er ute av drift.[3] På denne måten kan man gjenvinne store mengder stål og annet materiale, i stedet for å dumpe alt i sjøen og påvirke miljøet i enda større grad.

Det er i dag et stort marked for rivning av offshore installasjoner og det skrives kontrakter for flere hundre millioner kroner. I Norge finnes det flere selskaper innenfor dette området. AF Decom Offshore som er en av Europas ledende aktører innenfor fjerning, rivning og gjenvinning av offshoreinstallasjoner og er nettopp blitt tildelt en kontrakt med Statoil til en verdi av 500 millioner kroner.[4]

Det benyttes ulike metoder ved rivning av en installasjon og dette kommer naturligvis an på hva som skal fjernes. I følge prosjektdirektør, Amund Moen i AF Decom er det mest hensiktsmessig og benytte sterke containere ved opplastning av mindre stålstrukturer og skrap som oppstår under rivningen. Løftekurven som er designet i denne oppgaven kunne være mer aktuelt ved fjerning av lengre stålstrukturer, føringsrør og drillstenger. [5]

1.1.1 Problemstilling

- Sette seg inn i gjeldende standarder og forskrifter.
- Valg av riktig design for god kraftoverføring i konstruksjonen.
- Utføre styrkeberegninger i Ansys Classic og verifisering med håndberegninger.
- Utføre beregninger mot knekking, utmatting og sveiseforbindelser.

1.2 Målsettinger og begrensinger

Hovedmål:

Dimensjonere en løftekurv som skal løfte 20 tonn og være anvendelig for offshore operasjoner. Kurvens innvendige mål er 12 meter lang, 2 meter bred og 1,5 meter høy. Kurven skal ha gode kraftoverføringsegenskaper, enkle produksjonsegenskaper og lav total kostnad. Løftekurven skal være dimensjonert og designet i henhold til gjeldende forskrifter og standarder.

Delmål og prosessstrinn:

- Få oversikt over ulike standarder og forskrifter.
- Se på liknende produkter.
- Sette opp en god grunnmodell i Ansys Classic for styrkeberegninger og spenningsanalyser.
- Utfører håndberegninger for verifisering av modell i Ansys Classic.
- Valg av sjakler, stålwire og design av løfteøret og mellomplate.
- Dimensjonering av løfteøret.
- Finner de mest realistiske kreftene som hentes ut fra Ansys Classic
- Utfører beregninger for knekking, sveiseforbindelser og utmatting.
- Optimerer strukturen i løftekurven ved ulike profilstørrelser.
- Tegner løftekurven i 3D-programmet Solid Works for å lage arbeidstegninger
- Finner material og produksjonskostnadene

Begrensninger

På grunnlag av oppgavetekst og begrenset tid er det valgt å se bort fra noen punkter som det må arbeides videre med.

- Det er ikke tatt hensyn til støtbelastinger som kreves i henhold til DNV 2.7-1
- Design av feste til gaffeltruck
- Design av beskyttelsesbjelker som festes under de korte bunnbjelkene.
- Stabling ved masseproduksjon

1.3 Kvalitetssikring

Rapport

Jeg har gått gjennom rapporten grundig og forsikret meg om at referanser, tabellnummerering, figurnummerering, formelnummer og sidetall er i orden. Dimensjonerings og utregninger er kontrollert grundig, alle symboler er kommet med i symbol-listen og alle definisjoner er forklart i definisjonslisten.

Produkt

Grunnlagsberegningene er diskutert i samråd med oppdragsgiver ved jevnlig kontakt via e-post og møter. Jeg har benyttet en lastfaktor for styrkeberegninger i henhold til DNV 2.7-1. Det er utført FEM analyse av konstruksjonen som er kontrollert opp mot håndberegninger. Beregninger for sveis, knekk og utmatting er utført og tilfredsstiller kravene som er gitt.

1.4 Definisjoner

Tabell 1: Definisjoner som er brukt i rapporten

<i>DNV</i>	<i>Det Norske Veritas- innehaver av standarder</i>
<i>EC3</i>	<i>Eurokode 3- standard</i>
<i>RSF</i>	<i>Resulting Sling Force- dimensjonerende kraft i stålwiren iht. DNV - 2.7-1</i>
<i>RSL</i>	<i>Resulting Sling Load- dimensjonerende kraft i stålwiren iht. DNV - 2.7-3</i>
<i>WLL</i>	<i>Working Load Limit- krav til maks last for en løftekomponent i tonn, for eksempel løfteøret, sjakkel, wire. iht. DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3. Kun for løfteutstyr</i>
<i>MGW</i>	<i>Mass Gross Weight- total vekt av maks last og vekt av kurv (T+ P) iht. DNV 2.7-3</i>
<i>T</i>	<i>Tareload – egenvekt av kurven</i>
<i>P</i>	<i>Payload – maks last (20 tonn)</i>
<i>R</i>	<i>DNV 2.7-1 tilsvarende MGW for DNV 2.7-1, det vil si totalvekt</i>
<i>γ_{ut}</i>	<i>Utstyrsfaktor for beregning av WLL iht. DNV 2.7-1</i>

γ_L	Lastfaktor iht. DNV 2.7-1
γ_{M2}	Materialfaktor for sveiseregninger iht. EC3
DF	Designfaktor iht. DNV 2.7-3
SKL	Skjevhetfaktor på grunn av antall løftewirer iht. DNV 2.7-3
PL	Prosentvis last per løftewire, iht. DNV 2.7-3
N	Antall sykler til brudd etter S-N kurven iht. EC3
Λ	Lambda- slankhetsforhold for knekkberegninger
β_w	Beta – korrelasjonsfaktor for sveiseregninger
R_e	Flytegrense
R_{pad}	Minimum radius for løfteøret iht. DNV 2.7-3
R_{pl}	Minimum radius for utrivning iht. DNV 2.7-3
R_{ch}	Minimum radius for skivene på løfteøret iht. DNV 2.7-3
t_{ch}	Tykkelse av skivene på løfteørene
t_{pl}	Tykkelse av løfteøret
a - mål	Sveisens lengde
D_h	Hulldiameter til løfteøret iht. DNV 2.7-1
D_{pin}	Diameter på sjakkelpinne
f_u	Strekkefasthet
n	Sikkerhetsfaktor
C	Karbon
Si	Silisium
Mn	Mangan
P	Fosfor
S	Svovel
Al	Aluminium
CEV	Karbonekvivalent

1.5 Symboler og terminologi

Tabell 2: Symboler som er benyttet i rapporten

Symbol	Benevning	Betydning	Merknad
A	mm^2	Areal	-
l	mm	Lengde	-
H	mm	Høyde	-
T	mm	Tykkelse	-
W	mm^3	Tverrsnitts modul	-
I_0	mm^4	Annet arealmoment	-
I_x	mm^4	Annet arealmoment om x akse	-
I_y	mm^4	Annet arealmoment om y akse	-
F	N	Kraft	-
F_x	N	Kraft i x - retning	-
F_y	N	Kraft i y - retning	-
F_z	N	Kraft i z - retning	-
F_{res}	N	Resultantkraften av F_x og F_y	-
F_{air}	N	Designlast	2.7-3
$F_{k,till}$	N	Tillatt knekkraft	Knekk
σ	MPa	Sigma indikerer en slags spenning	-
σ_b	MPa	Bøyespenning	Sveis
σ_{maks}	MPa	Tillat spenning	Sveis
$\sigma_{b,d}$	MPa	Bøyespenning	Sveis
σ_e	MPa	Ekvivalent Von Mises spenning	Sveis
σ_w	MPa	Spenningsvidden iht. DNV	Utmatting
σ_{\perp}	MPa	Vinkelrett spenningskomponent	Sveis
τ_{\perp}	MPa	Strekkspenning	Sveis

τ_{\parallel}	MPa	Skjærspenning	Sveis
y_B	Mm	Tyngdepunkt i snitt B	Sveis
y_A	Mm	Tyngdepunkt i snitt A	Sveis
G	m/s^2	Tyngdens akselerasjon	-
Q	N/mm	Jevnt fordelt last per mm	Håndberegninger
Q	N	Jevnt fordelt last	Håndberegninger
l_k	Mm	Knekk lengde	Knekk
I	M	Tregghetsradius	Knekk

Formler

Tillatte spenninger	$\sigma_{maks} \leq R_e \cdot 0,85$	(1)
Pytagora`s	$hyp^2 = kat^2 + kat^2$	(2)
Rettvinklet trekant	$\tan \alpha = \frac{\text{motstående}}{\text{hosliggende}}$	(3)
Resultantkraft uten lastfaktor	$F_{res} = \frac{MGW}{3 \cdot \cos 45}$	(4)
Resultantkraft pytagoras	$F_{res} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$	(5)
Maks moment ved fast innspent bjelke i begge ender	$M_{maks} = \frac{Q \cdot l}{24}$	(6)
Bøyespenning	$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{F \cdot l}{W}$	(7)
Designfaktor av kurven iht. 2.7-3	$DF = 1,4 + 0,4 \cdot \sqrt{50/MGW}$	(8)
Designlast iht. 2.7-3	$F_{air} = DF \cdot MGW \cdot g$	(9)
Kraft fra stålwiren iht. 2.7-3	$RSF = \frac{1,2 \cdot SKL \cdot PL \cdot F_{air}}{\cos(v)}$	(10)
Valg av sjakkel iht. 2.7-3	$WLL \geq \frac{RSF \cdot 0,45}{g}$	(11)
Design av løfteøret iht. 2.7-3	$R_{pad} = \frac{R_{pl} \cdot t_{pl} + 2 \cdot R_{ch} \cdot t_{ch}}{t}$	(12)
Krav til lagertrykk iht. 2.7-3	$\sigma_e \geq 0,045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t}}$	(13)
Krav til utrivning iht. 2.7-3	$\sigma_e \geq \frac{2 \cdot RSF}{(2 \cdot RSF - D_H) \cdot t}$	(14)
Krav til sveis av skivene iht. 2.7-3	$\sigma_e \geq \frac{RSF \cdot t_{ch}}{t \cdot D_{ch} \cdot a}$	(15)
Working Load Limit iht. 2.7-1	$WLL_{min} = R \cdot F_{ut}$	(16)

Minimum sjakkel dimensjon	$WLL_{sjakkel} = \frac{WLL_{min}}{3 \cdot \cos 45}$	(17)
Krav til hulldiameter	$Dh \leq D_{pin} \cdot 6\%$	(18)
Valg av lengde på sjakkelpinnen	$t = a_{pin} \cdot 80\%$	(19)
Resultantkraft fra stålwiren	$RSL = \frac{3 \cdot R \cdot g}{(n-1) \cdot \cos 45}$	(20)
Krav til utrivning av løfteøret	$H \geq \frac{1}{2 \cdot t} \left(\frac{3 \cdot RSL}{R_e} + Dh \cdot t \right)$	(21)
Bøyespenning	$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma}{I_{x,sveis}}$	(22)
Bøyespenning i sveis	$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}}$	(23)
Skjærspenning i sveis	$\tau_{11} = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h}$	(24)
Jevnførende spenningsnitt A -løfteøret	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{11}^2)}$	(25)
Kapasitet i kilsveis (1)	$\sigma_{jf} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$	(26)
Kapasitet i kilsveis (2)	$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$	(27)
Jevnførende spenning snitt B-løfteøret	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp b}^2 + 3 \cdot \tau_{11}^2}$	(28)
Skjærspenning i sveis	$\tau_{\parallel} = \frac{Q \cdot \gamma_f}{A_{sveis}}$	(29)
Jevnførende spenning snitt A –bunn	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{b\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2}$	(30)
Jevnførende spenning snitt B –bunn	$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{b\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2}$	(31)
Spenningsvidden	$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2 \cdot \tau_{\parallel}^2}$	(32)

Formel for S-N kurven $N = C \cdot \Delta\sigma^{-m}$ (33)

Formel for S-N kurven $C = 10^{\log \bar{a}}$ (34)

Miner- Palmgren $x \left(\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} \right) \leq 1$ (35)

Slankhetsforhold $\lambda = \frac{l_k}{i}$ (36)

Tetmajer's kriterier for S355 $\lambda \leq 89$ (37)

Knekkfastheten etter Tetmajer for S355 $\sigma_k = 335 - 0,62 \cdot \lambda$ (38)

Knekkraften $F_k = \sigma_k \cdot A$ (39)

Tillatt knekkraft $F_{k,till} = \frac{F_k}{n_k}$ (40)

Tillat spenning mot flyt $M_{b,maks} = R_e \cdot W$ (41)

Forenklet interaksjonsmetode $\frac{F_x}{F_{till}} + \frac{1,5 \cdot M_z}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_y}{M_{b,maks}} \leq 1$ (42)

Areal ellipse $A_E = \pi \cdot H \cdot B \cdot 0,5$ (43)

Annet arealmoment ellipse $I_E = \frac{\pi}{64} \cdot B \cdot H^3$ (44)

Tverrsnittsmodul $W_E = \frac{\pi}{32} \cdot B \cdot H^2$ (45)

2 BESKRIVELSE

2.1 Kravspesifikasjoner

Tabell 3: Kravspesifikasjoner fra arbeidsgiver

Kravspesifikasjoner for løftekurv	
Lengde- innvendig	12 000 mm
Bredde- innvendig	2 000 mm
Høyde- innvendig	1 500 mm
Tillatt last	20 tonn
Operasjons område	Offshore

Tabell 4: Krav fra DNV 2.7-1

Hva	Krav	Utført	Referanse
Bølgehøyde	6 m	Nei	4.1
Stabilitet mot velting	Motstå 30 ° helling	Nei	4.1.2
Design temperatur	$\leq 20^{\circ}$	Ja	4.1.4
Tillatt spenning	$\sigma_e \leq 0,85 \cdot R_e$	Ja	4.2.1
Designlast- struktur	$F_L = 2,5 \cdot R \cdot g$	Ja	4.2.3
Designlast- løfteøret	$F_P = 3 \cdot R \cdot g$	Nei	4.2.3
Støtberegninger			
Tillatt spenning	$\sigma_e \leq R_e$	Nei	4.2.4
Hjørne- horisontal	$F_H = 0,25 \cdot R \cdot g$	Nei	4.2.4
Langsiden- horisontal	$F_H = 0,25 \cdot R \cdot g$	Nei	4.2.4
Kortsiden-horisontal	$F_H = 0,15 \cdot R \cdot g$	Nei	4.2.4
Deformasjon	$y \leq \frac{L}{250}$	Ja	4.2.4

Vertikal kraft	$F_{VI} = 0,25 \cdot R \cdot g$	Nei	4.2.4
Minimum materialtykkelse	$t \leq 6 \text{ mm}$	Ja	4.2.5
Avstand mellom gaffellommene	2050 mm	Nei	4.4.6
Testing			
Løftetest last	$2,5 \cdot R$		4.6.3
Deformasjon	$y \leq \frac{L}{300}$		4.6.3
Vetikal test			
Dropptest	$h = 50 \text{ mm}$		4.6.4

Tabell 5 Krav fra DNV 2.7-3

Hva	Krav	Utført	Referanse
Designtemperatur	-20°C	Ja	3.2.1
Minimum materialtykkelse – hjørne	8 mm	Ja	3.2.2
Minimum materialtykkelse – ramme	6 mm	Ja	3.2.2
Risikovurdering	Høy	Ja	3.3.2
Operasjonsklasse	R30	Ja	3.3.4
Tillatt spenning	$\sigma_e \leq 0,85 \cdot R_e$	Ja	3.4.3
Utnyttelsesfaktor knekk	0,85	Nei	3.4.4
Spenningsreduksjon kilsveis	0,5	Ja	3.4.5
Designfaktor	$1,4 + 0,4 \cdot \sqrt{\frac{50}{MGW}}$	Ja	3.5.1
Designlast	$F = 498,56 \text{ kN}$	Ja	3.5.1
Designlast-støt		Nei	
Horisontale påvirkninger	$F_{HI} = 0,05 \cdot F$	Nei	
Vertikale påvirkninger		Nei	
Horisontal skipsforsyningsfaktor	$F_H = MGW \cdot g$	Nei	3.7.2
Vertikale skipsforsyningsfaktor	$F_{Vmax} = 1,3 \cdot MGW \cdot g$	Nei	3.7.2

Vertikale skipsforsyningslast	$F_{vmin} = 0,7 \cdot MGW \cdot g$	Nei	3.7.2
Horisontalt vindkraft	1 kN/m^2	Nei	3.7.2
Løftettest iht. 2.7-1			
Droppptest ih.t 2.7-1			
Minimum wirediameter	$D \geq 12 \text{ mm}$	Ja	7.3.2

2.2 Forskrifter og standarder

Det er i denne oppgaven gjort beregninger i henhold til DNV 2.7-1 - Offshore Containers samt DNV 2.7-3 - Portable Offshore Units. Løftekurven som dimensjoneres vil i hovedsak følge 2.7-1, men verifiseres opp mot 2.7-3. I 2.7-1 defineres en offshore container som en transportabel komponent som ikke overskrider en totalvekt, MGW, på 25 000 kg, og på grunnlag av dette har DNV klargjort en ny standard for liknende komponenter som ikke overskrider en MGW på 50 000 kg. (6) I 2.7-3 selekterer man hvordan type som beregnes, hvor løftekurven i denne oppgaven beregnes etter Type A. (7) Her kommer det også tydelig frem at Type A enheter har mange karakteristiske likheter med offshore containers. Det ble antatt en MGW på under 25 000 kg før beregningene var påbegynt, men det skulle vise deg at den totale vekten ville ende litt høyere enn for hva som er tillatt i henhold til 2.7-1. De mest vesentlige beregningene er derfor gjort i henhold til begge standardene hvor det mest konservative resultatet er valgt. I tillegg er det benyttet andre standarder, og for virksomheter som skal konstruere denne type løfteredskap må skaffe følgende standarder

- DNV 2.7-1 – Offshore Containers
- DNV 2.7-3 – Portable Offshore Units
- EC3 – Prosjektering av stålkonstruksjoner- Del 1-8: Knutepunkter
- DNV – RP C203
- EC3 – Prosjektering av stålkonstruksjoner- Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygging

Tillatte spenninger og lastfaktor

Det er her valgt å følge 2.7-1 da lastfaktoren her gir en høyere verdi enn i 2.7-3. Ved å benytte denne lastfaktoren skal ikke den jevnførende spenningen overskride tillatt spenning som vist i tabell fire.

Løftekomponenter

Løfteutstyr og løfteøret er også her beregnet etter begge standardene, hvor den mest konservative løsningen velges. Sjakkelen velges ut fra WLL hvor 2.7-1 gir en høyere dimensjon enn 2.7-3.

Løfteøret dimensjoneres i hovedsak utfra 2.7-3 da denne tar med tykkelsen av skivene som settes på løftørene, men kontrolleres opp mot 2.7-1. I tillegg er det verifisert med Norsk Standard R 002 som har egne tabeller over design og utforming av løfteører. (8)

Sveiseforbindelser

Sveiseberegningene er utført i henhold til Eurokode 3. Samtidig som det er benyttet en lastfaktor i henhold til Eurokode 3, benyttes kreftene som oppstår ved lastfaktoren i henhold til DNV 2.7-1. Det er med andre ord knyttet stor sikkerhet rundt sveiseberegningene.

I henhold til 2.7-1 skal all sveis mellom løfteøret og primærstrukturen være full gjennomgående, unntaksvis ved mellomplate slik som det er benyttet i denne oppgaven hvor det er benyttet en kilsveis. (9) For kilsveis skal den tillatte spenningen, i henhold til 2.7-3, multipliseres med 0,5. (10) I denne oppgaven er dette sett bort fra da sikkerhetsfaktoren er høy fra før.

Dynamiske belastninger og utmatting

Utmattingsberegningene er gjort i henhold til DNV RP C203- "Fatigue Design og Offshore Structures".

Knekk

Knekkberegningene er gjort etter forenklet interaksjonsformel fra utlevert kompendium i kurset TMP 301. Denne metoden er testet mot Eurokode 3 og kommer ut på konservativ side for en del tester som er gjort. [S1]

2.3 Formgiving og design

Grunnformen på rammen er gitt av oppdragsgiver og er designet med utgangspunkt i vanlige offshorecontainere som visst i DNV 2.7-1.

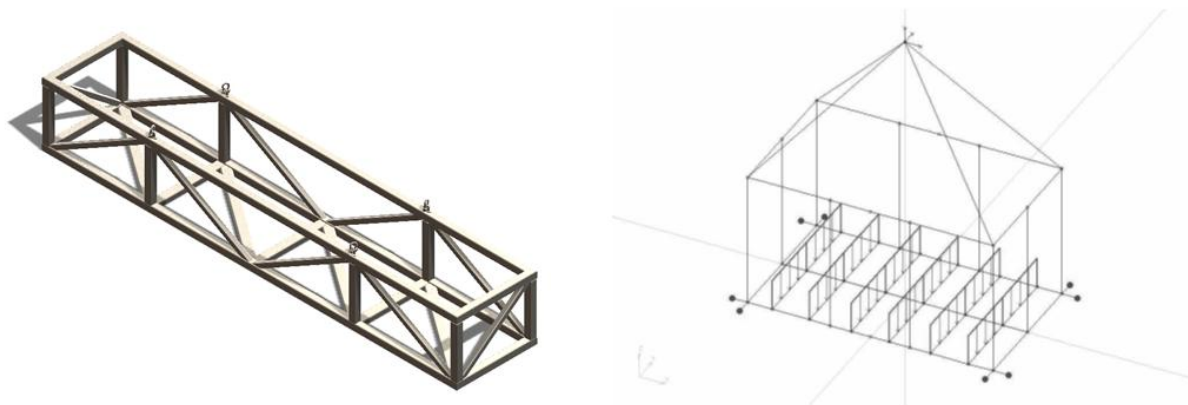


Figure 1: Beregningen av løftekurven til venstre tar utgangspunkt i en container fra DNV 2.7-1.

Løfteøret skal i henhold til DNV 2.7-1 ikke stikke ut fra sidene på konstruksjonen, men kan plasseres på toppen av profilet.[14] På grunn av høyt forhold mellom lengde og bredde av kurven plasseres løfteørene ved $\frac{1}{4}$ og $\frac{3}{4}$ av lengden for å dempe ned kritiske påkjenninger.

Optimalt ville designet på løfteøret vært som i figur 2 da resultantkraften treffer 45° på øret. Dette gjør at de vertikale og horisontale kreftene treffer i senter av grunnmaterialet øret er plassert på, og er gunstig med tanke på utmattingsegenskaper.

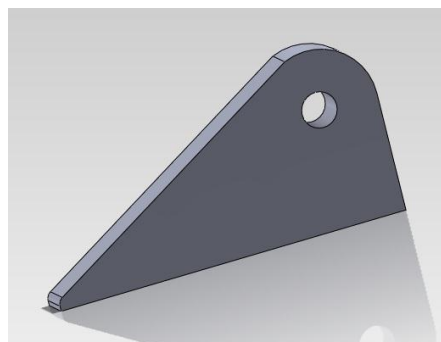


Figure 2: Optimal utforming av løfteøret

På grunn av dårlig plass er designet som vist i figur 3.

Kreftene treffer ikke i senter av grunnmaterialet og det blir større bøyespenninger i sveisen. Det er derfor valgt å skjære til løfteøret og benytte en k-sveis mot en plate som er sveiset fast i profilet. Dette forbedrer utmattingsegenskapene til løfteøret.

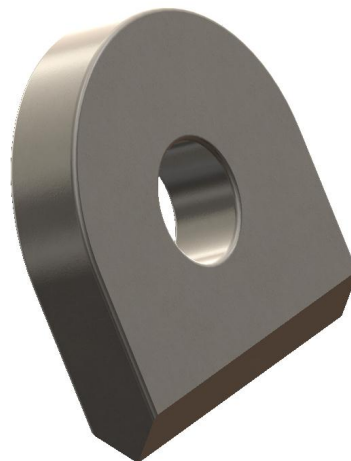


Figure 3: Figurskåret løfteøret for k-sveis

Som nevnt ovenfor er det designet en mellomplate som løfteøret skal sveises til for å forbedre utmattingsegenskapene. Platen har runde kanter for å redusere spenningene.

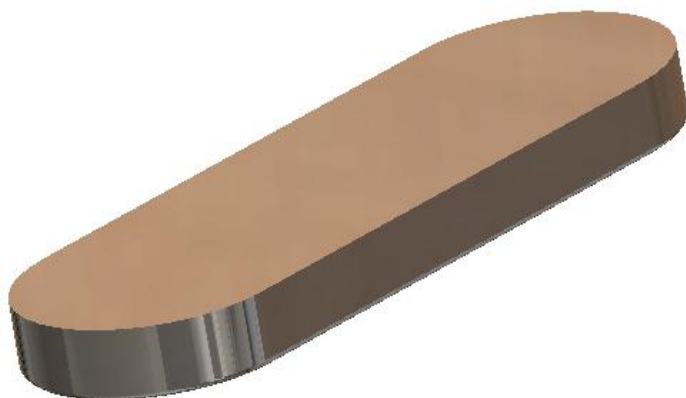


Figure 4: Mellomplate

3 Grunnlagsberegninger

3.1 Statiske krefter, momenter og dimensjonerende spenning

Vekt

Får å utføre beregningene er man i tillegg til lasten på 20 tonn, avhengig av å vite hvor mye selve kurven veier uten last. For store konstruksjoner som denne vil det være av stor betydning, og i henhold til standardene skal det gjøres et konservativt overslag av vekten.

$$MGW = T + P$$

Her: T er vekten av selve kurven

P er vekten av maks last

Tabell 6: Beregningsgrunnlag for kurvens vekt, T

Profiltype / Element	Vekt pr m / Massetetthet	Lende (m) / Volum (m ³)	Sum (kg)
200*200	57 kg/m	61,28 m	3 492,9 kg
250*150	57 kg/m	20,4 m	1 164,1 kg
140*140	38,1 kg/m	31,8 m	1 212,9 kg
Løfteøret 4 stk	7 850 kg/m ³	6,8·10 ⁻⁴ m ³	7,25 kg
Plater 4 stk	7 850 kg/m ³	3,13·10 ⁻⁴ m ³	9,8 kg
Cheekplates 8 stk	7 850 kg/m ³	6,3·10 ⁻⁵ m ³	3,95 kg
Sum kurv	-	-	5 890,9 kg
Valgt T	-	-	6 000 kg

$$MGW = 20\,000 + 6000 = 26\,000 \text{ tonn}$$

3.1.1 Dimensjonerende spenninger

Det er i denne oppgaven gjort styrkeberegninger av statiske krefter og momenter i henhold til standard DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3. Standardene gir ulike verdier med tanke på sikkerhet, og siden 2.7-3 bygger på 2.7-1, tar beregningen utgangspunkt i 2.7-1. Etter samtaler på mail med Øistein Riber i Datek ble det enighet om å velge en lastfaktor på 2,5 som er i henhold til 2.7-1. [11]

Dersom jevnføringsspenningen ikke overskrider spenningen nedenfor vil kurven tilfredsstillere kravene mot flyt.

$$\sigma_{maks} \leq R_e \cdot 0,85 = 355 \text{ MPa} \cdot 0,85 \quad (1)$$

$$\sigma_{maks} \leq 301,75 \text{ MPa}$$

Geometri

Under er det skissert enkle strektegninger som viser kurvens geometri for å se hvordan kreftene fra stroppene virker på kurven. I henhold til DNV 2.7-1 stilles det krav om minimum vinkel på 45° av stroppene. [12] Kraftene under er ikke benyttet i dimensjoneringen men gir en god indikasjon på sikkerheten rundt dimensjoneringen.

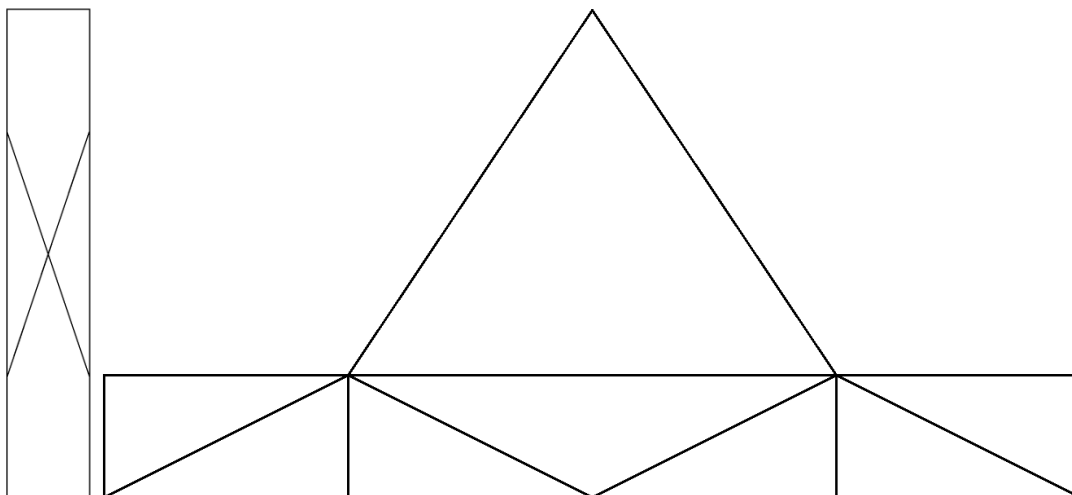


Figure 5 Viser kurvens geometri, sett fra y - og z- retning

Beregning av kraftkomponenter i wiren.

Ser på wiren i horisontalplanet og finner lengden fra løfteørene og inn til senter av kurven. Kurven har som tidligere nevnt en innvendig bredde på bredde på 2000 mm med 200 mm brede profiler. Ansys-modellen beregner fra senter av profilet slik at bredden vi må ta hensyn til blir 1100 mm

$$S_H = \sqrt{1100^2 + 3000^2} = 3195,3 \text{ mm}$$

Siden vinkelen til wirene er 45° må minimum høyde av toppløkken være lik S_H . Finner så minimum lengde av wiren, her kalt S .

$$S \geq \frac{3195,3 \text{ mm}}{\cos 45} = 4518,8 \text{ mm}$$

Finner nå kraftkomponentene til wiren. I henhold til DNV 2.7-1 skal et legeme som løftes fra fire stropper fordeles på tre stropper da det ofte vil være en stropp som er inaktivt.

$$F_y = \frac{26000 \cdot 9,81}{3} = 85020 \text{ N}$$

Kaller $S = F_{res}$ og finner resultantkraften per wire. (2)

$$F_{res} = \frac{26000 \text{ kg}}{3 \cdot \cos 45} = 12256,51 \text{ kg} = 120236,4 \text{ N}$$

Dekomponering av resultantkraften og finner aksialkraften i horisontalplanet. (3)

$$\tan \alpha = \frac{1100}{3000} \rightarrow \alpha = 20,14^\circ$$

Kraften som virker inn mot senter av kurven i horisontalplanet må være lik den vertikale kraften på grunn av 45° vinkel, det vil si $F_y = F_H$

$$F_x = F_H \cdot \cos 20,14 = 85020 \cdot \cos 20,14 = 79821,4 \text{ N}$$

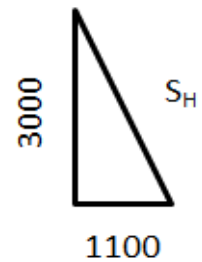


Figure 6

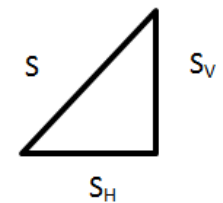


Figure 7

$$F_z = F_H \cdot \sin 20,14 = 85\,020\,N \cdot \sin 20,14 = 29\,273,7\,N$$

Kontrollerer

$$F_{res} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} = \sqrt{79\,821,4^2 + 29\,273,7^2 + 85\,020^2} = 120\,236,5\,N \quad (5)$$

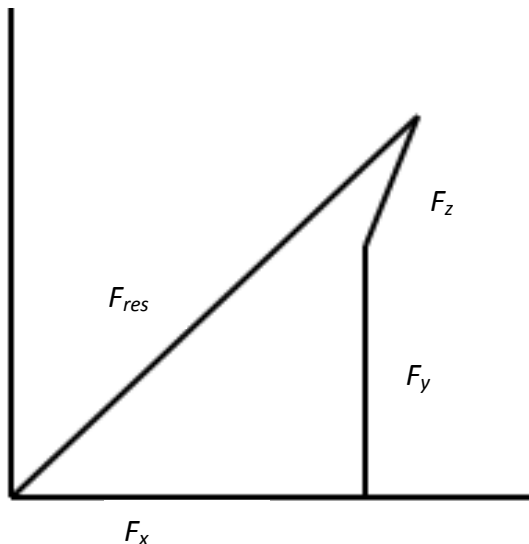


Figure 8 viser hvordan F_x , F_y og F_z danner resultantkraften

Verifisering

Kreftene ovenfor vil ikke være realistiske i forhold til å utføre styrkeberegninger da fagverket i kurven vil føre til kraftoverføringer i hele konstruksjonen. De kreftene som benyttes er hentet fra Ansys Classic. Det er allikevel laget en modell for å verifisere Ansys spenning i bærebjelkene i bunn med håndberegninger. Antar at de momentene som oppstår på grunn av F_z blir tatt opp av de fem rette bjelkene i bunn.

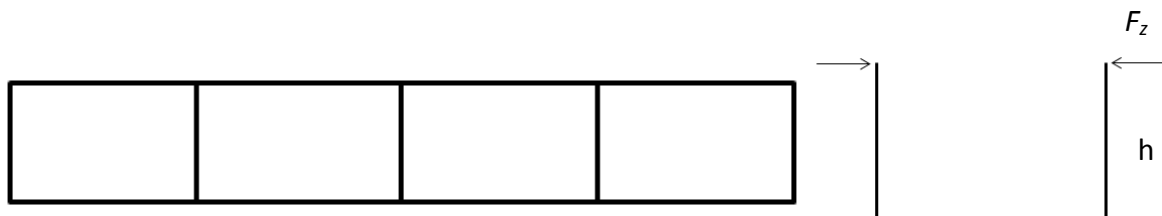


Figure 9 og Figure 10 viser hvilke bjelker som tar opp moment og hvor kreftene inntreffer

Finner bøyespenning om z – akse for en bjelke (7)

$$\sigma_{bz} = \frac{2 \cdot F_z \cdot \gamma_L \cdot h}{5 \cdot W} = \frac{2 \cdot 29\,273,6 \text{ N} \cdot 2,5 \cdot 1890 \text{ mm}}{5 \cdot 351,23 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 157,5 \text{ MPa}$$

Trykkspenningen fra F_z (7)

$$\sigma_{bzt} = \frac{2 \cdot F_z}{5 \cdot A} = \frac{2 \cdot 29\,273,6 \text{ N}}{5 \cdot 7257 \text{ mm}^2} = 1,6 \text{ MPa}$$

Bøyespenning fra last ved fast innspenning i begge ender (6)

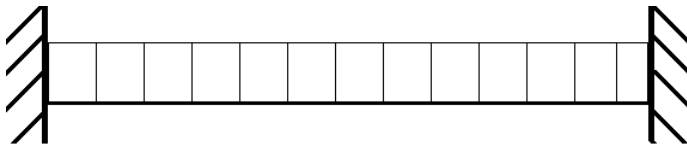


Figure 11

$$M_{maks} = \frac{Q \cdot l}{24}, \text{ der } Q = q \cdot l = \frac{26\,000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2000 \text{ mm}}{3 \cdot 2000 \text{ mm}} = 85\,020 \text{ N}$$

Finner M_{maks} med lastfaktor på 2,5 (7)

$$M_{maks} = \frac{F_l \cdot Q \cdot l}{24} = \frac{2,5 \cdot 85\,020 \text{ N} \cdot 2000 \text{ mm}}{24} = 17,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Finner største spenning som oppstår av lasten

$$\sigma_{maks} = \frac{M_{maks}}{W} = \frac{17,7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}}{351,23 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 50,4 \text{ MPa}$$

Da er alle spenningene regnet ut og man kan finne den totale spenningen som oppstår i bjelken.

$$\sigma_{tot} = \sigma_{bz} + \sigma_{bzt} + \sigma_{maks} = 157,5 \text{ MPa} + 1,6 \text{ MPa} + 50,4 \text{ MPa} = 209,5 \text{ MPa}$$

Som man ser stemmer resultatene ved håndberegning godt med spenningsbildet fra Ansys som er vist i figur 12. Håndberegningene vil naturlig nok gi et høyere resultat da de ikke tar

hensyn til avstiverne i endene av konstruksjonen.

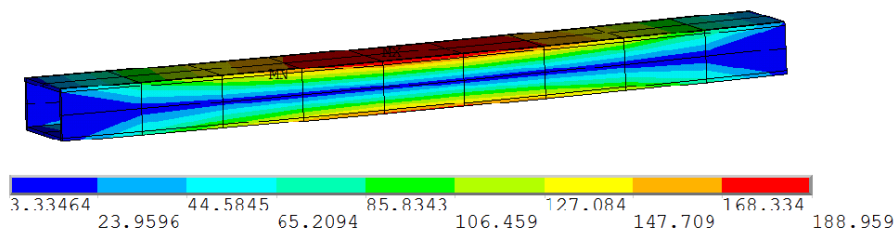


Figure 12 Viser et bilde fra Ansys med spenningsspekter av bærebjelkene i bunn

Det er valgt å bruke elementet “BEAM189” som er gunstig for å analysere slanke og relativt korte bjelkestrukturer. Elementet er basert på Timoshenko's bjelketeori som inkluderer skjærdeformasjonsprosessen. “BEAM189” er et kvadratisk tre node element, og har seks frihetsgrader. Det betyr at elementet analyserer i x,y og z retning og i rotasjon om x,y og z retning. Siden det er et fagverk som ønskes analysert må dette elementet være tilfredsstillende.

3.1.2 Beregning av løfteøret og valg av sjakkell

Beregningene av løfteøret og sjakkell er gjort i henhold til DNV 2.7-1 samt kontrollert mot DNV 2.7-3. For å utføre beregningene på løfteøret er man naturlig nok avhengig av å vite nødvendig dimensjon på sjakkell og stroppene. Disse velges ut fra resultantkraften per stropp, samt WLL som er visst i beregningene under.



Figure 13 og Figure 14: Bilde av løfteøret og sjakkelen som benyttes

Beregninger i henhold til 2.7-3

Benytter MGW og operasjonsklasse for å beregne DF. (8)

$$DF = 1,4 + 0,4 \cdot \sqrt{\frac{50}{MGW}} = 1,95$$

Finner da den dimensjonerende kraften. (9)

$$F_{air} = DF \cdot MGW \cdot g = 498,6 kN$$

Beregner resultantkraften, RSF, som virker på hvert løfteøret. (10)

$$RSF = \frac{1,2 \cdot SKL \cdot PL \cdot F_{air}}{\cos(v)} = \frac{1,2 \cdot 1,25 \cdot 0,25 \cdot 498,6 kN}{\cos 45} = 264\,422,6 N$$

$$RSF = 264\,422,6 N$$

Her: *SKL er en faktor for fire stropper da en ofte vil være intakt.*

PL prosentvis last per stropp

F_{air} er lastfaktoren

Beregner WLL for å velge riktig sjakkeldimensjon. (11)

$$WLL \geq \frac{RSF \cdot 0,45}{g} = 12\,128,6 kg$$

Dette tilsvarer en resultantkraft lik 118 981,5 N og er mindre enn halvparten av RSF, men dette er på grunn av en allerede høy sikkerhetsfaktor av sjaklene.

Utfra beregningene ovenfor velges det en sjakkel med WLL på 13,5 tonn og i figur 15 ser man mål som er nødvendig å vite for å beregne løfteøret.

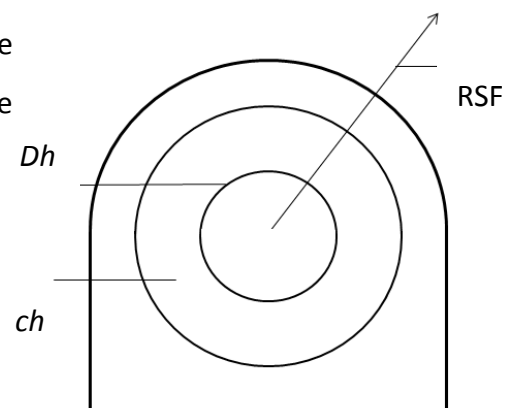


Figure 15

Finner minimum radius for løfteøret. (12)

$$R_{pad} = \frac{R_{pl} \cdot t_{pl} + 2 \cdot R_{ch} \cdot t_{ch}}{t}$$

Her: R_{pl} er minimum distanse fra senter av hullet til kanten av løfteøret

R_{ch} er radius av skivene

t_{ch} er tykkelsen til skivene

t er den totale tykkelse med løfteøret og begge skivene

a er a – mål av sveisen

Beregner lagertrykket og i henhold til standarden stilles følgende forutsetninger for valg av beregningsmetode. (13)

$$D_{pin} \geq 0,94 \cdot D_H = 38 \text{ mm} \geq 37,6 \rightarrow \sigma_e \geq 0,045 \cdot \sqrt{\frac{RSF \cdot E}{D_H \cdot t}} = 243,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e \leq 0,85 \cdot R_e \rightarrow 301,8 \text{ MPa}$$

$$301,8 \text{ MPa} \geq 243,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{lagertrykk ok}$$

Oppfyller kravene til utrivning (14)

$$\sigma_e \geq \frac{2 \cdot RSF}{(2 \cdot RSF - D_H) \cdot t} \rightarrow 301,8 \text{ MPa} \geq 161,22 \text{ MPa} \rightarrow \text{utrivning er ok}$$

Oppfyller kravene til sveisen på skivene. (15)

$$\sigma_e \geq \frac{RSF \cdot t_{ch}}{t \cdot D_{ch} \cdot a} \rightarrow 301,8 \text{ MPa} \geq 151,3 \text{ MPa}$$

Tabell 7

σ_e	WLL	R_{pl}	R_{ch}	t_{ch}	R_{pad}	a-sjakk	D_{pin}	D_H
301,8 MPa	13 500 kg	40 mm	38 mm	20 mm	60 mm	57 mm	38 mm	40 mm

Beregning i henhold til 2.7-1

Fordi DNV 2.7-3 forholder seg til offshore containere med MGW ≤ 25 tonn, er det ingen tabell som gjelder for løftekurven som har MGW = 26 tonn. I beregningene benyttes det en utstyrsfaktor som blir mindre jo høyere vekten av containeren er. Det er derfor valgt å benytte en utstyrsfaktor som er lik for MGW = 25 tonn.

Beregner WLL_{min} (16)

$$WLL_{min} = R \cdot \gamma_{ut} = 26 \cdot 1,105 = 28,7 \text{ tonn}$$

Minimum sjakkeldimensjon. (17)

$$WLL_{sjakk} = \frac{WLL_{min}}{3 \cdot \cos 45} = \frac{28,7 \text{ tonn}}{3 \cdot \cos 45} = 13,53 \text{ tonn}$$

Som man ser fra tabellen i vedlegg 8, ligger WLL rett over grensen til 13,5 tonn sjakk. På grunn av sikkerhetsmessige årsaker velges det en sjakk på 17 tonn. Etter valgt sjakk kan man beregne designet av løfteøret.

Krav til hulldiameter. (18)

$$D_h \leq D_{pin} \cdot 6\% = 42 \cdot 1,06 = 44,52 \text{ mm} \rightarrow D_h = 44 \text{ mm}$$

Tykkelsen av løfteøret ved hullet skal ikke være mindre en 75 % av nettolengde på sjakkelpinnen, a_{pin} . [8] Ved 80 % utnyttelse av a_{pin} vil det ikke være noe reduksjon i sjakkens kapasitet. [9] (19)

$$t = a_{pin} \cdot 80\% = 60 \text{ mm} \cdot 80\% = 48 \text{ mm}$$

Velger $t = 50$ mm da dette er enklere og billigere å produsere.

Resultantkraft per ståltau i Newton, der n er antall tau

(20)

$$RSL = \frac{3 \cdot R \cdot g}{(n - 1) \cdot \cos 45} = \frac{3 \cdot 26 \cdot 9,81}{3 \cdot \cos 45} = 360\,709,3 \text{ N}$$

Krav til utrivning

(21)

$$R_e \geq \frac{3 \cdot RSL}{2 \cdot H \cdot t - Dh \cdot t} \rightarrow H \geq \frac{1}{2 \cdot t} \left(\frac{3 \cdot RSL}{R_e} + Dh \cdot t \right)$$

$$H \geq \frac{1}{2 \cdot 50} \cdot \left(\left(3 \cdot \frac{360709,3}{355} \right) + 44 \cdot 50 \right) \rightarrow H \geq 52,5 \text{ mm}$$

Endelig design

Etter å ha gjennomført beregninger av løfteøret i henhold til 2.7-1 og 2.7-3 ble det valgt følgende mål av løfteøret.

Tabell 8

σ_e	WLL	R_{pl}	R_{ch}	t_{ch}	R_{pad}	a-sjakk	D_{pin}	D_H
301,8 MPa	17 000 kg	70 mm	50 mm	10 mm	70 mm	60 mm	42 mm	44 mm

3.1.3 Beregning av sveiseforbindelser

Dimensjoneringen av sveiseforbindelser er gjort på de mest utsatte punktene i konstruksjonen, som er ved løfteøret og ved bærebjelkene i bunn. Beregningsmetoden er gjort i henhold til Eurokode 3.

Sveis av løfteøret til plate

Det er gjort en konservativ vurdering i forhold til beregning av sveisen mellom løfteøret og mellomplaten. I realiteten vil det være en full gjennomgående k-sveis som vil være sterkere og mer utmattingssikker i forhold til en kilsveis som det er beregnet etter. Denne type sveis kan ses på som støpt til materialet. Dersom kilsveis oppfyller kriteriene i henhold til Eurokode 3, kan man med stor sikkerhet si at k-sveis vil holde mot brudd. For å kunne benytte en full gjennomgående k-sveis er det en fordel at mellomplaten har en tykkelse lik 20 mm slik at den totale tykkelse blir like stor som tykkelsen på løfteøret, det vil si 30 mm. Under ser man beregningene for en kilsveis med a-mål lik 7 mm.

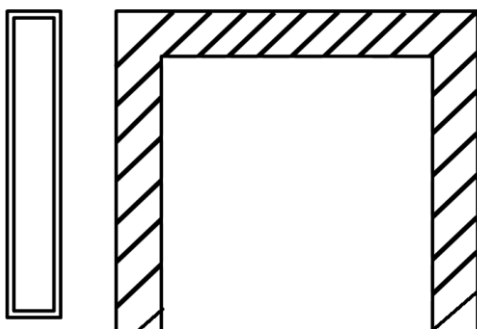


Figure 16 viser arealet til sveisen

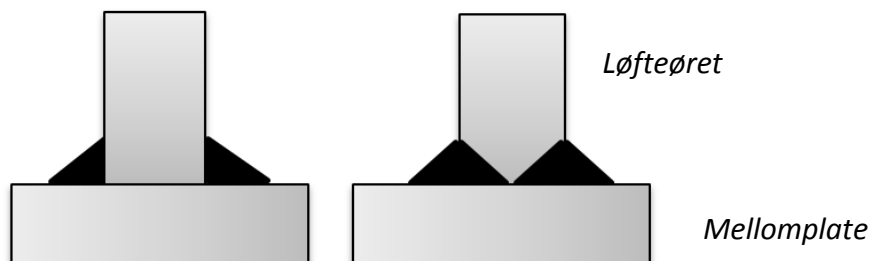


Figure 17: Løfteøret sveiset til mellomplaten med en kilsveis og en k-sveis

Snitt A-A

Bøyepening forårsaket av F_x i snitt A (22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{x,sveis}}$$

Spenningskomponentene (23)

$$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{b,d} = \frac{212\,550\,N \cdot 70\,mm \cdot 1,5}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot (44 \cdot 154^3 - 30 \cdot 140^3)} \cdot \frac{154}{2} = 263,1\,MPa$$

$$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}} = \frac{263,1\,MPa}{\sqrt{2}} = 186,0\,MPa$$

Her: M_b er maksimum bøyepening

γ_f er lastfaktor

y_A er sveisens tyngdepunkt

I_x er sveisens arealmoment

$\sigma_{\perp b}$ er bøyepening som virker på sveisen

Finner spenningskomponentene forårsaket av F_x som gir skjærspenning (24)

$$\tau_{11} = \frac{F_y \cdot \gamma_f}{2 \cdot a \cdot h} = \frac{212\,550\,N \cdot 1,5}{2 \cdot 7\,mm \cdot 140\,mm} = 162,6\,MPa$$

Her: F_y er den vertikale kraften fra stroppene

a er sveisens a – mål

h er sveisens høyde

Kapasitet i kilsveiser og dimensjonskriterier.

(25,26,27)

$$(1) \sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{11}^2)} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$$

$$(2) \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$(1) \sigma_{jf} = \sqrt{186,0^2 + 3 \cdot (186,0^2 + 162,6^2)} \leq \frac{510}{1,25 \cdot 0,9}$$

$$466,7 \text{ MPa} \leq 453,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{Ikke ok!}$$

$$(2) \sigma_{\perp} = 186,0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 510}{1,25} \rightarrow 186,0 \text{ MPa} \leq 453,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{ok}$$

Snitt B:

Bøyespenning forårsaket av F_x i snitt A.

(22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_B}{I_{x,sveis}}, \quad \sigma_{b,d} = \sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{b,d} = \frac{212\,550 \text{ N} \cdot 70 \text{ mm} \cdot 1,5}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot (44 \cdot 154^3 - 30 \cdot 140^3)} \cdot \frac{140}{2} = 239,2 \text{ MPa}$$

Spenningskomponentene

(23)

$$\sigma_{\perp b} = \tau_{\perp b} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}} = \frac{239,2 \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 169,1 \text{ MPa}$$

Skjærspenningen, τ_{11} er lik som i snitt A

Kapasitet i kilsveiser og dimensjonskriterier.

(28,26)

$$(1) \sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{\perp b}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp b}^2 + 3 \cdot \tau_{11}^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w}$$

$$\sqrt{169,1^2 MPa + 3 \cdot 169,1^2 MPa + 3 \cdot 162,6^2 MPa} \leq \frac{510}{1,25 \cdot 0,9}$$

$$440,2 MPa \leq 453,3 MPa \rightarrow ok$$

Som man ser er kapasiteten i kilsveisen akkurat over grensen av hva som er tillatt. Likevel er dette et godt utgangspunkt da det ikke vil være en kilsveis der. Det kan da konkluderes med at en k-sveis mellom løfteøret og mellomplaten vil holde mot brudd. De dimensjonerende kreftene har i utgangspunkt en sikkerhetsfaktor på 3,75.

$$F = 2,5 \cdot \gamma_f = 2,5 \cdot 1,5 = 3,75$$

Kontrollerer om spenningen i grunnmaterialet er tilfredsstilt. Dette sjekkes i snitt B, der bøyespenningene er størst.

Dimensjonerende bøyespenning (22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \cdot \gamma_f}{W_{x,plate}} = \frac{212\,550\,N \cdot 70\,mm \cdot 1,5}{\left(\frac{1}{6}\right) \cdot 30mm \cdot 140^2mm} = 227,7\,MPa$$

Dimensjoneringskriteriet

$$\sigma_{b,d} \leq \frac{355}{1,25} \rightarrow 227,7 MPa \leq 284 MPa$$

Spenningen mot grunnmaterialet tilfredsstiller kravene i Eurokode 3. [13]

Sveis mellom profil og mellomplate

I henhold til DNV 2.7-1 er akseptabelt å bruke vanlig kilsveis på plater som bygger opp løfteørene.[9] Dette kan begrunnes med profilene ikke tåler avanserte sveiser på grunn av tykkelsen til platen, lave påkjenninger på platen og stort sveisareal. Utregningen av platen gjøres på samme måte som ovenfor, bare med andre mål. Som man ser i figuren under har sveisen en ellipse form, som forbedrer sveiseegenskapene. I tabellen under er resultatene av en rektangulærformet og en ellipseformet sveis av mellomplaten sammenliknet.

Tabell 9

Mål	Verdi	Symbol	Verdi	Spennning	Snitt A	Snitt B
Rektangulær form						
Lengde	150 mm	F_x	212 550 N	$\sigma_{\perp b}$	143,2 MPa	130,1 MPa
Bredde	75 mm	F_y	212 550 N	τ_{\perp}	143,2 MPa	130,1 MPa
A-mål	7 mm	M_b	$28,7 \cdot 10^6$ Nmm	τ_{11}	151,8 MPa	151,8 MPa
Høyde	90 mm	γ_f	1,5	σ_{jf}	388,8 MPa	371,1 MPa
Ellipseform						
Lengde	225 mm	F_x	212 550 N	$\sigma_{\perp b}$	136,9 MPa	128,9 MPa
Bredde	75 mm	F_y	212 550 N	τ_{\perp}	136,9 MPa	128,9 MPa
A-mål	7 mm	M_b	$28,7 \cdot 10^6$ Nmm	τ_{11}	92,3 MPa	92,3 MPa
Høyde	90 mm	γ_f	1,5	σ_{jf}	317,2 MPa	303,4 MPa

Som man ser gir den ellipseformede platen lavere spenninger enn den rektangulære formen. Målene av lengde og bredde som er vist i tabellen er innvendige mål, høyden er 90 mm der de horisontale kreftene treffer senter av platen i grunnmaterialet. Under er det vist utregning av ellipseformens geometriegenskaper.

Areal av ellipseformet sveis. (43)

$$A_E = \pi \cdot 0,25 \cdot (234 \cdot 89 - 225 \cdot 75) = 3103,1 \text{ mm}$$

Annet arealmoment av ellipseformet sveis. (44)

$$I_{x,sveis} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (44,5 \cdot 119,5^3 - 37,5 \cdot 112,5^3) = 17,7 \cdot 10^6 mm^4$$

Tverrsnittsmodul av ellipseformet sveis.

(45)

$$W = \left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot (89 \cdot 234^2 - 75 \cdot 225^2) = 10,6 \cdot 10^6 mm^3$$

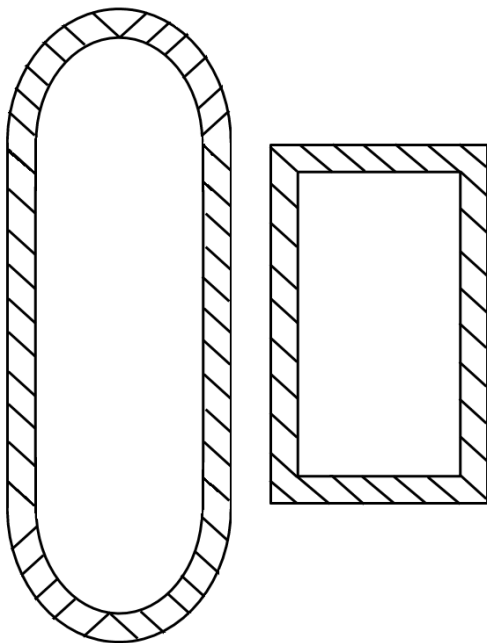


Figure 18: Ellipseformet- og rektangulærformet sveis

Kontrollerer grunnmaterialet

(22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \cdot \gamma_f}{W_{x,rekt}} = \frac{212\,550\,N \cdot 90\,mm \cdot 1,5}{\left(\frac{1}{6}\right) \cdot 75mm \cdot 150^2mm} = 102\,MPa \rightarrow ok$$

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \cdot \gamma_f}{W_{x,ellipse}} = \frac{212\,550\,N \cdot 90\,mm \cdot 1,5}{\left(\frac{\pi}{32}\right) \cdot 75mm \cdot 225^2mm} = 76,9\,MPa \rightarrow ok$$

Sveis av bærebjolkene i bunn

Bærebjolkene sveises til bunnrammen med vanlig kilsveis. Det er ingen eksakte verdier på hvilke momenter som virker på sveisen da opplagrene kan ses på som fast innspent og fritt opplagret. Det er derfor valgt en fornuftig verdi utfra momenter i Ansys og ved utførte håndberegninger. Den mest realistiske verdien vil være et sted mellom 7 773 200 Nmm og 32 786 000 Nmm da disse ligger i hver ende på elementet i Ansys. Likevel er det valgt en verdi som ligger mellom håndberegningene på grunn av sikkerhetsmessige årsaker.

Tabell 10: Viser oversikt over momenter hentet fra Ansys og ved håndberegning

Beregningsmetode	Maks moment (Nmm)
Ansys (Mzi)	7 773 200
Ansys (Mzj)	32 786 000
Fast innspent i begge ender	35 425 000
Fast innspent og fritt opplagret	53 135 700
Velger	40 000 000

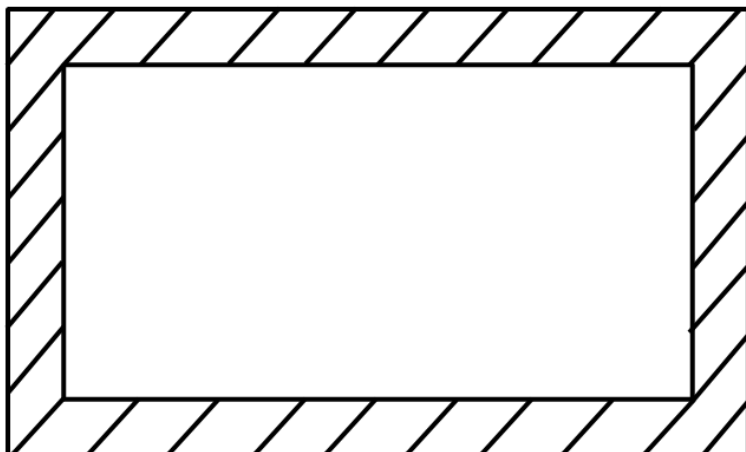


Figure 19: Viser kilsveisen for bunnbjelkene

Snitt A-A (22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M \cdot \gamma_f \cdot y_A}{I_{x,sveis}} = \frac{40\,000\,000 \text{ Nmm} \cdot 1,5 \cdot 82 \text{ mm}}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot (264 \cdot 164^3 - 250 \cdot 150^3)} = 184,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{184,1 \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 130,2 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} = \sigma_{b\perp} = 130,2 \text{ MPa}$$

Kapasitet i kilsveis i snitt A (30)

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{b\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} \rightarrow \sqrt{4 \cdot 130,2^2} \leq \frac{510}{1,25 \cdot 0,9}$$

$$260,3 \text{ MPa} \leq 453,33 \text{ MPa} \rightarrow \text{ok}$$

Snitt B-B (22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M \cdot \gamma_f \cdot y_B}{I_{x,sveis}} = \frac{40\,000\,000 \text{ Nmm} \cdot 1,5 \cdot 75 \text{ mm}}{\left(\frac{1}{12}\right) \cdot (264 \text{ mm} \cdot 164^3 \text{ mm} - 250 \text{ mm} \cdot 150^3 \text{ mm})} = 168,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b\perp} = \frac{\sigma_b}{\sqrt{2}} = \frac{168,4 \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 119,2 \text{ MPa}$$

Skjærspenning (24)

$$\tau_{\parallel} = \frac{Q \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} = \frac{212\,550 \text{ N} \cdot 1,5}{264 \cdot 164 - 250 \cdot 150} = 55 \text{ MPa}$$

Kapasitet i kilsveis i snitt B (31)

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_{b\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} \rightarrow \sqrt{4 \cdot 119,2^2 + 3 \cdot 55^2} \leq \frac{510}{1,25 \cdot 0,9}$$

$$256,5 \text{ MPa} \leq 453,3 \text{ MPa} \rightarrow \text{ok}$$

Kontroll mot grunnmaterialet (22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{M_b \gamma_f}{W} = 207,1 \text{ MPa}$$

3.2 Dynamiske belastninger og sikkerhet mot utmatting

Det er laget ulike lastscenarier for å se hvilke utmattingsegenskaper kurven har.

Løfteøret

K-sveisen som forbinder løfteøret med mellomplaten er så mye sterkere enn kilsveisen som er benyttet på mellomplaten. Det er derfor ikke gjort noen utmattingsberegning av løfteøret, men av mellomplaten som er sveiset til hulprofilen.

Forbindelse av mellomplate og hulprofil

Beregner først levetiden i antall sykler ved full belastning og med en lastfaktor på 2,5, slik det er gjort i de tidligere beregningene.

Finner spenningsvidden i sveisematerialet. (32)

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2 \cdot \tau_{\parallel}^2}$$

Spenningskomponenten (23)

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{s\perp} = \frac{\sigma_{b,d}}{\sqrt{2}}$$

Bøyespenning forårsaket av F_x . (22)

$$\sigma_{b,d} = \frac{F_x \cdot h \cdot \gamma_f \cdot y}{I_{x,sveis}} = \frac{212\,550\text{ N} \cdot 90\text{ mm} \cdot 1,5 \cdot 84,5\text{ mm}}{14\,822\,393,8\text{ mm}^4} = 163,6\text{ MPa}$$

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{s\perp} = \frac{163,6\text{ MPa}}{\sqrt{2}} = 115,7\text{ MPa}$$

Skjærspenning (24)

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_x \cdot \gamma_f}{A_{sveis}} = \frac{212\,550\text{ N} \cdot 1,5}{169\text{ mm} \cdot 114\text{ mm} - 155\text{ mm} \cdot 100\text{ mm}} = 84,6\text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \sqrt{2 \cdot \sigma_{\perp}^2 + 0,2 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{2 \cdot 115,7^2\text{ MPa} + 0,2 \cdot 84,6^2\text{ MPa}} = 167,9\text{ MPa}$$

Velger kurve G [15]

$$N = C \cdot \Delta\sigma^{-m} \quad (33)$$

Hvor: N er antall sykler

$$C = 10^{\log \tilde{a}} \quad (34)$$

m er konstant

$\Delta\sigma$ er spenningsvidden

$$\log \tilde{a} = 11,398$$

Gir: $N = 10^{11,398} \cdot 167,9^{-3} = 52\,826$ sykler

Ved full belastning kan man altså utføre om lag 52 826 løft. Dette er en konservativ vurdering da beregningene er utført med en lastfaktor på 2,5. Det er uansett nødvendig å utføre en utmattingsberegning med ulike last tilfeller. La oss anta at kurven skal løfte stålprofiler ved dekomponering av en oljeplattform. Da vil halvparten av løftene skje ubelastet, som også vil påføre kurven utmattingspåkjenninger. Under er det tenkt et scenario ved ulike lasttilfeller for å se om kurven holder mot utmatting. Spenningsviddene er utført på samme måte som ovenfor men med andre krefter.

Ubelastet: $F_x = \frac{6000kg \cdot 9,81 \cdot 2,5}{3} = 49\,050\,N$

10 tonn: $F_x = \frac{(6\,000kg + 10\,000kg) \cdot 9,81 \cdot 2,5}{3} = 130\,800\,N$

20 tonn: $F_x = \frac{(6\,000kg + 20\,000kg) \cdot 9,81 \cdot 2,5}{3} = 212\,550\,N$

Finner antall lastvekslinger ved de ulike lasttilfellene.[]

$$N = C \cdot \Delta\sigma_w^{-m}$$

$$N_1 = 10^{11,398} \cdot 38,7^{-3} = 4\,313\,870,5$$

$$N_2 = 10^{11,398} \cdot 103,3^{-3} = 226\,829,2$$

$$N_3 = 10^{11,398} \cdot 167,9^{-3} = 52\,826,0$$

Antar et lastscenario der kurven utfører totalt 40 løft i løpet av en dag, hvorav 30 løft er på 10 tonn og 10 løft er på 20 tonn. Som tidligere nevnt vil det i tillegg være 40 løft av ubelastet kurv da halvparten av løftene er ubelastet.

Antall dager til brudd ved *Miner Palmgren*. (35)

$$x \left(\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} \right) \leq 1 \rightarrow x = \frac{1}{\left(\frac{40}{4313870,5} + \frac{30}{226829,2} + \frac{10}{52826,0} \right)} = 3\,022 \text{ dager}$$

Dette betyr at etter 3 022 dager med lastscenario som forklart ovenfor, vil det være fare for utmattingsbrudd i sveiseforbindelsen i mellomplaten og hulprofilet. Med disse resultatene er da sett bort fra eventuelle skader som kan oppstå underveis. Et lite støt på konstruksjonen er nok til å begynne sprekkinitiering, og det i tillegg ingen enkel oppgave å utføre feilfrie sveiseprosesser. På grunn av slike ting er det viktig å ha inspiseringsintervaller hvor man ser om det er utviklet skader og sprekkvekst. Dette skal i henhold til standarder utføres med en NDT metode. Det vil si at man inspiserer materialene uten at man risikere å skade overflaten. Det er mange metoder som benyttes, og de vanligste er visuell inspeksjon, magnetpulverprøving, penetrantprøving, radiografi og ultralyd.

Begrensninger

Arealmomentet i utregningen ovenfor er av rektangulær form, slik som det først var beregnet etter. På grunn av dårlig tid er det ikke rettet opp i dette, men levetiden ville blitt enda lengre da arealmomentet på den nye formen er høyere.

Forbindelsen av bærebjelkene i bunn

Gjør en liknende beregning med scenario tilsvarende ovenfor. Bøyespenning og skjærspenningene er like som i sveiseberegningene. (23)

$$\sigma_{b\perp} = \tau_{s\perp} = \frac{\sigma_{b.d}}{\sqrt{2}}$$

Spenningsvidden (32)

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + 0,2 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{2 \cdot 130,2^2 MPa + 0,2 \cdot 55,0^2 MPa} = 185,8 MPa$$

Forenkler beregningene for å finne tilsvarende krefter som i scenarioet ovenfor ved forholdsregning.

$$\sigma_{w1} = 185,8 \cdot \left(\frac{6\,000\,kg}{26\,000\,kg} \right) = 42,9 MPa$$

$$\sigma_{w2} = 185,8 \cdot \left(\frac{16\,000\,kg}{26\,000\,kg} \right) = 114,3 MPa$$

$$\sigma_{w3} = 185,8 MPa$$

Finner antall lastvekslinger for de ulike lasttilfellene og benytter kurve W3 [15] (33)

$$N = C \cdot \Delta\sigma_w^{-m}$$

$$N_1 = 10^{10,970} \cdot 42,9^{-3} = 1\,182\,028,9$$

$$N_2 = 10^{10,970} \cdot 114,3^{-3} = 62\,497,3$$

$$N_3 = 10^{10,970} \cdot 185,8^{-3} = 14\,549,9$$

Antall dager til brudd ved Miner Palmgren. (35)

$$x \left(\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} \right) \leq 1 \rightarrow x = \frac{1}{\left(\frac{40}{1\,182\,028,9} + \frac{30}{62\,497,3} + \frac{10}{14\,549,9} \right)} = 832,5 \text{ dager}$$

Ser at det er større fare for utmattingsbrudd ved bærebjelkene i bunn.

3.3 Knekking

Knekkberegningene blir gjort der de største trykkreftene opptrer som er mellom løfteørene og på bærebjelkene i bunn. Beregningene er gjort utfra forenklet interaksjonsregel, metode 1.[S.1] Metoden som benyttes er enkel å bruke og har vist seg i en del tilfeller å gi konservativt resultat i forhold til EC3.[S.2] Det er forskjellige type former for knekking og i denne oppgaven er de gjort med hensyn til både bøye – og aksialkrefter.

Mellom løfteørene



Figure 20

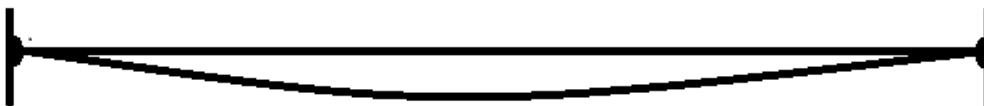


Figure 21

I figurene ovenfor ser man hvordan kreftene virker på bjelken mellom ørene. Figur 4 viser aksialkreftene og bøyemoment i x retning. I tillegg vil det virke et bøyemoment i z-reting. Figur 5 viser knekkkurven som bestemmes utfra hvordan bjelken er opplagret. Det mest realistiske vil være å velge et knekktilfelle som er leddlagret i begge ender, resultatet vil i tillegg komme ut på konservativ side.

Kreftene som benyttes er hentet ut fra Ansys da disse er mest realistiske.

Utgregning

Finner slankhetsforholdet som sier noe om hvor sterk staven er i forhold til lengden. (36)

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{l}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{6000 \text{ mm}}{\sqrt{\frac{42,51 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}{7257 \text{ mm}^2}}} = \frac{6000}{76,53} = 78,4$$

$\lambda \leq 89 \rightarrow$ Tetmajer's formel (37)

Finner knekkfastheten S355 (38)

$$\sigma_k = 335 - 0,62 \cdot \lambda = 335 - 0,62 \cdot 78,4 = 286,4 \text{ MPa}$$

Beregner tillatt knekkraft med sikkerhetsfaktor, $n_k = 3$ (39)

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A} \rightarrow F_k = \sigma_k \cdot A = 286,4 \text{ MPa} \cdot 7257 \text{ mm}^2 = 2\,078\,404,8 \text{ N}$$

$$F_{k,till} = \frac{F_k}{n} = \frac{2\,078\,404,8 \text{ N}}{3} = 692\,801,6 \text{ N} \quad (40)$$

Beregner tillatt spenning for flyt

$$M_{b,maks} = R_e \cdot W = 355 \text{ MPa} \cdot 425\,110 \text{ mm}^3 = 15,09 \cdot 10^7 \text{ Nmm} \quad (41)$$

Tabell 11

F_x	$M_z \text{ maks}$	$M_y \text{ maks}$
300 790 N	3 590 000 Nmm	6 182 200 Nmm

Kriterie for at bjelken skal holde mot knekking: (42)

$$\frac{F_x}{F_{till}} + \frac{1,5 \cdot M_z}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_y}{M_{b,maks}} \leq 1$$

$$\frac{300\,790 \text{ N}}{692\,801,6 \text{ N}} + \frac{1,5 \cdot 3\,590\,000 \text{ Nmm}}{150\,914\,050 \text{ Nmm}} + \frac{1,5 \cdot 6\,182\,200 \text{ Nmm}}{150\,914\,050 \text{ Nmm}} = 0,53$$

Ser at det er liten fare for knekking av bjelkene mellom løfteørene.

Bærebjerkene i bunn

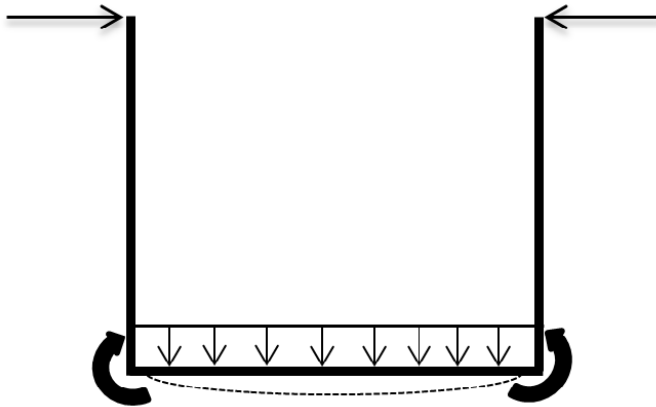


Figure 22

Beregningene mellom på bærebjerkene i bunn tar samme utgangspunkt som mellom løfteørene og har lik knekkurve.

Utrekning

Finner slankhetsforholdet som sier noe om hvor sterk staven er i forhold til lengden. (36)

$$\lambda = \frac{l_k}{i} = \frac{l \cdot 1}{\sqrt{\frac{I}{A}}} = \frac{2000 \text{ mm} \cdot 1}{\sqrt{\frac{26,34 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}{7257 \text{ mm}^2}}} = \frac{2000}{60,2} = 33,2$$

$$\lambda \leq 89 \rightarrow \text{Tetmajer's formel} \quad (37)$$

Finner knekkfastheten S355 (38)

$$\sigma_k = 335 - 0,62 \cdot \lambda = 335 - 0,62 \cdot 33,2 = 314,4 \text{ MPa}$$

Beregner knekkraften. (39)

$$\sigma_k = \frac{F_k}{A} \rightarrow F_k = \sigma_k \cdot A = 314,4 \text{ MPa} \cdot 7\,257 \text{ mm}^2 = 2\,281\,600,8 \text{ N}$$

Tillatt knekkraft med sikkerhetsfaktor $n=3$. (40)

$$F_{k,till} = \frac{F_k}{n} = \frac{2\,281\,600,8 \text{ N}}{3} = 760\,533,6 \text{ N}$$

Beregner tillatt spenning for flyt

$$M_{b,maks} = R_e \cdot W = 355 \text{ MPa} \cdot 351\,230 \text{ mm}^3 = 12,46 \cdot 10^7 \text{ Nmm} \quad (41)$$

Tabell 12

<i>F_x</i>	<i>M_{z maks}</i>	<i>M_{y maks}</i>
27 385 N	70 620 000 Nmm	2 926 100 Nmm

Setter inn i interaksjonsformelen (42)

$$\frac{F_x}{F_{till}} + \frac{1,5 \cdot M_z}{M_{b,maks}} + \frac{1,5 \cdot M_y}{M_{b,maks}} \leq 1$$

$$\frac{27\,385}{760\,533,3} + \frac{1,5 \cdot 70\,620\,000 \text{ Nmm}}{124\,686\,650 \text{ Nmm}} + \frac{1,5 \cdot 2\,926\,100 \text{ Nmm}}{124\,686\,650} = 0,92$$

Etter utførte beregninger kan man konkludere med at det ikke vil være fare for knekking i konstruksjonen. Resultatene er nære ved å gå over grensen til hva som er tillatt, men det er gjort flere konservative vurderinger i beregningene

Endringer

Det ble i slutfasen oppdaget minimale feil i geometrien slik at løftehodet måtte flyttes 30 mm høyere, som gjør at verdiene fra Ansys avviker noe. Men forandringene er så små at de kan neglisjeres, dessuten kommer de ut konservativt da vinkelen blir større enn 45.

4 ELEMENT- OG LØSNINGSVALG

4.1 Komponenter

Det er i dette kapitlet beskrevet hvilke komponenter og deler som danner løftekurven, samt en kort beskrivelse av komponentene som trengs for å løfte kurven. Hovedelementene som består av selve kurven, samt løfteøret med skiveplatene og sveiseplaten er produkter som bestilles fra stålprodusenten, Ruukki, som mottar arbeidstegninger og kapper til komponentene etter ønske. De ferdig fabrikkerte komponentene bestilles fra leverandører innen løfteutstyr som enkelt finner riktige dimensjoner utfra gitt *WLL*.

4.1.1 Ferdig fabrikkerte

Sjakkel

Består av fire stk. høylegert stål og er godkjent i henholdt til DNV 2.7-1. Sjakkene festes til løfteørene med en mutterbolt. Sjakkelen tåler en *WLL* på 17 tonn. Tabell beskriver dimensjonene som er vist i figur 21.

Tabell 13

d_{bolt}	a	c	d	d_2	e
42 mm	60 mm	146 mm	38 mm	84 mm	98 mm

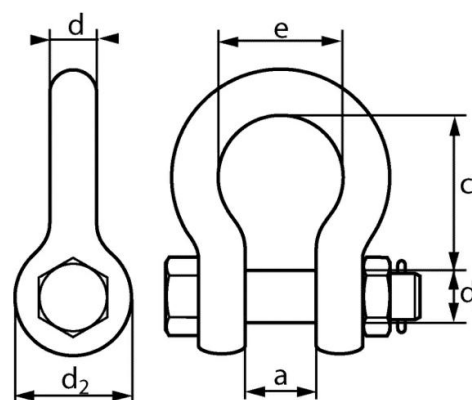


Figure 23: Sjakkeldimensjon

Stålwire

Består av fire stk. med fiberkjerne 1770 N/mm^2 og har standard bløttøye i begge ender. Hver wire festet i en sjakkel på den ene enden og i et løftehode på den andre enden. Wiren har en diameter 36 mm og er i henhold til DNV 2.7-1.



Figure 24: Bildet av stålwiren.

Løftehode

Består av en stk. som forbinder stålwirene med forløperen.

Materialet er legert stål klasse 8. og er godkjent i henhold til DNV 2.7-1. Løftehode tåler en WLL på 38,3 tonn og veier 27,7 kg.

B	D	L	b	d	l
170 mm	45 mm	320 mm	140 mm	38 mm	270 mm

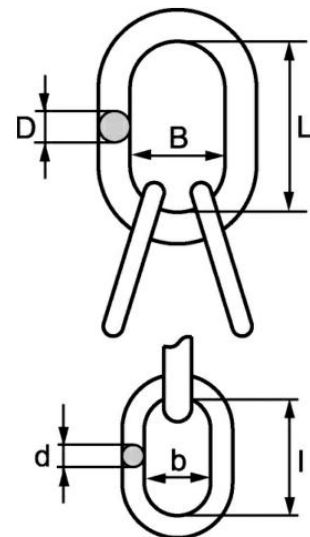


Figure 25:
Dimensjoner av
løftehode

Forløper

Består av en stk. og er komponenten som forbinder løftehodet med kranen. Det er festet en slavekrok i den nedre enden som festes i løftehodet, og en toppløkke i den øvre delen slik som figur 26 viser. Wiren har en diameter på 56 mm og en *WLL* på 33,5 tonn.



Figure 26: Viser bildet av forløper med krok. Kroken festes i løfthode vist i figuren under.



Figure 27: Viser sammensetningen av de fire stålwirene og løfthode.

4.1.2 Designede komponenter

Løfteøret

Består av fire stk. med stålkvalitet S355J2H og har en vekt på sirka 1,8 kg. Løfteøret har en høyde og lengde på 140 mm og en tykkelse på 30 mm. Designet på løfteørene er i stor grad valgt ut fra bredden til bjelken den er plassert på. Som tidligere nevnt i kapittel to ville den optimalt ha hatt en form som var tilpasset kraft vektoren slik som figuren under viser, *Figure 28*

mye på grunn av spenningen som oppstår i sveisen. Men på grunn av begrenset med plass måtte det velges en annen løsning. Designen for utrivning er tilnærmet minimumskravet fra DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3, og for en sikker sammensetning er det valgt å bruke en k – sveis.

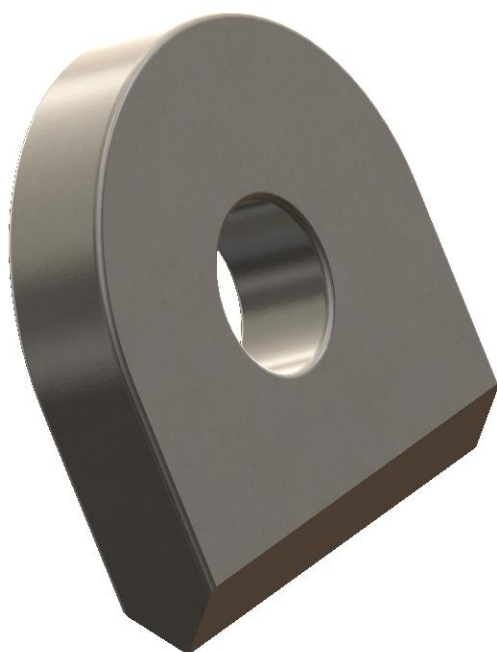
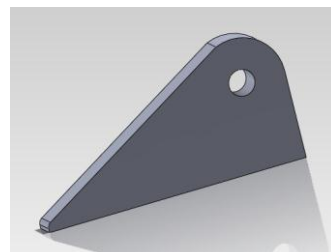


Figure 29

Plate for løfteøret

Består av fire stk. i stålqualität S355J2H og har en vekt på 4,54 kg. Det har en lengde på 225 mm, bredde på 75 mm og en tykkelse på 20 mm. Det er avrundet i kantene for å redusere spenningene i sveisen, som en kilsveis med α – mål på 7 mm.



Figure 30: Mellomplate

Skiveplate

Består av 8 stk. i stålqualität S355J2H og har en vekt på sirka 0,5 kg. Disse festet på hver side av løfteøret for å øke styrken mot utrivning. På denne måten kan man ha en mindre tykkelse på løfteøret. Skivene har en ytterdiameter på 100 mm og er 10 mm tykke.



Figure 31

4.2 Hovedelementer

Tabell 14

Profil størrelse	200 x 200	150 x 250	140 x 140
Vekt per meter	57 kg	57 kg	38,1 kg
Areal	$72,57 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$72,57 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$	$48,57 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$
Tregghetsmoment	$4251,06 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$2634,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$1311,67 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
Motstandsmoment	$425,11 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$351,23 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$187,38 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Det er i dette avsnittet beskrevet de ulike profilelementene og sammensetningen ved produksjon. Profilene blir presentert utfra rekkefølgen de skal settes sammen i. Dimensjonene indikeres med høyde x bredde x veggtykkelse, for eksempel 150x250x10.

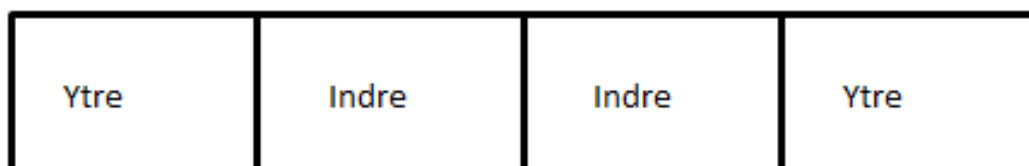


Figure 32: Viser hvilke bjelker som tilhører ytre og indre soner av rammen

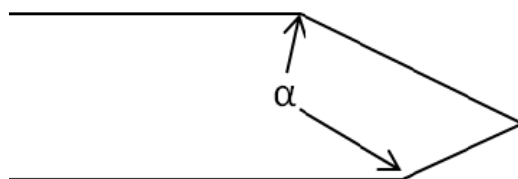


Figure 33: Viser hvilke vinkel som beskrives

Lengdeprofil 12 400 mm – 200x200

Løftekurven består av 4 stk. kvadratisk hulprofiler S355J2H med dimensjonene 200x200x10. Profilet danner hovedramme sammen med breddeprofilene om også består av 4 stk. Det er kun disse åtte profilene som sveisen sammen med en enkel v – sveis (buttsveis). Sveiseren må selv lage en v – fuge og vurdere sveisealternativer. Profilet er 12 400 mm og veier 695,4 kg. Det er kappet med en vinkel på 45° i begge ender.

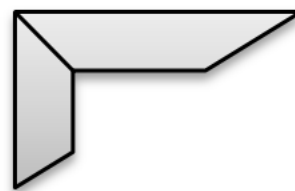


Figure 34

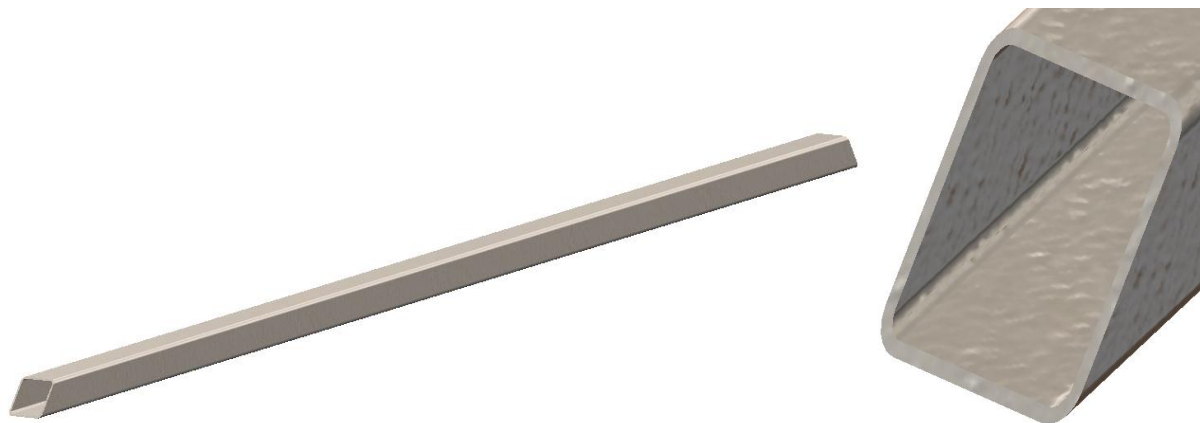


Figure 35 og Figure 36

Breddeprofil 2400 mm – 200x200

Tilsvarende lengdeprofilet består disse av 4 stk. stålqualität S355J2H, 200x200x10. Lengden er 2400 mm og med 45° kapp i begge ender for å tilpasse lengdeprofilet.

Bunnprofil rett 2000 mm – 150x250

Profilet består av 3 stk. rektangulært hulprofil med stålkvalitet S355J2H og med dimensjonene 150x250x10. Disse bunnprofilene danner selve bunn av kurven og blir utsatt for store påkjenninger. Profilet sveises til lengdeprofilet med en kilsveis med α – mål på 7 mm. Det er viktig at sveiseren plasserer profilene symmetrisk. Profilet er 2000 mm langt og veier 114 kg.



Figure 37

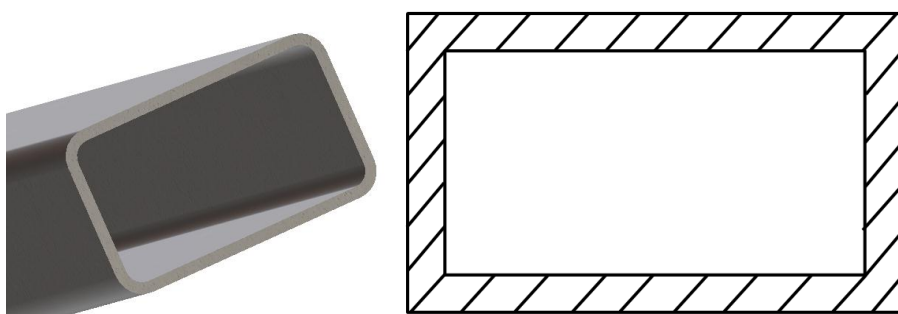


Figure 38 og Figure 39 viser enden på profilet og sveisearealet.

Bunnprofil avstiver ytre 3461 mm og indre 3440 mm – 150x250

De rette bunnprofilene er avstivet av profiler med tilsvarende størrelser. På grunn av små differanser på avstanden mellom de rette bunnprofilene vil de to ytterste avstiverne være ulik de to indre avstiverne. Profilet består av 2 stk. 150x150x10 rektangulært hulprofil med stålkvalitet S355J2H og sveises med kilsveis med α – mål på 7 mm. Profilet har en lengde på 3461 mm og veier i underkant av sirka 188 kg. Det er kappet med en vinkel på $144,2^\circ$ og $125,8^\circ$ i begge ender. Se arbeidstegning for mer informasjon.{V12}

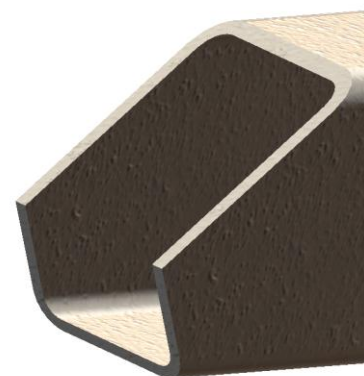


Figure 40: Viser hvordan enden på bjelken er kappet



Figure 41: Fullt bildet av bjelken

De to andre avstiverne som er i de indre feltene er identiske de ytre, men er 3 441 mm lange og veier sirka 186 kg.

Vertikal profil 1500 mm – 200x200

Profilet består av åtte stk. kvadratisk hulprofil, stålqualität S355J2H og dimensjonen 200x200x10. Profilet har en lengde på 1500 mm og veier 85,5 kg. De har 90 ° vinkel på kappet. Sveiseren må her vurdere hva som er mest hensiktsmessig. Som vist i figur 42 vil det være åpning til innsiden av de vertikale bjelkene på grunn av radiusen til de horisontale bjelkene, $r=25\text{ mm}$ og $t=10\text{ mm}$.

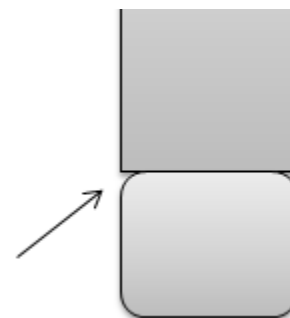


Figure 42

Etter at de vertikale profilene er sveiset til bunnrammen, sveiser man topprammen sammen før de diagonale avstiverne sveises på.

Sideprofil avstivere indre 3278 mm – 140x140

Profilet består av fire stk. kvadratiske hulprofiler med stålqualität S355J2H og dimensjon 140x140x10. Profilet har en lengde på 3278 mm og veier sirka 154,4 kg. I den enden som sveises til bunnrammen er det kappet en vinkel på 29 °, mens i den andre enden hvor det sveises til topprammen og vertikal bjelke er det kappet i en vinkel på 151° og 119,1°. Se arbeidstegning for mer detaljert informasjon. {V12} Sveises med et a – mål på 7 mm.

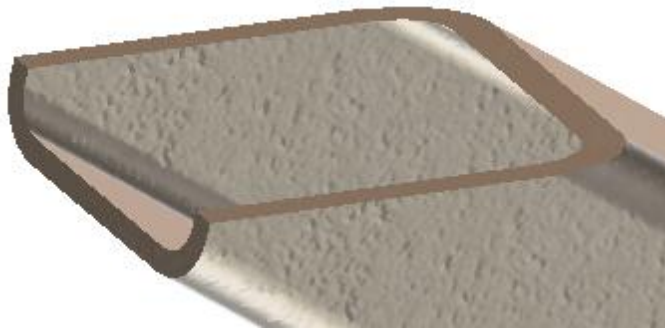


Figure 43 : Viser den ene enden av bjelken



Figure 44: Viser den andre enden av bjelken

Sideprofil avstivere ytre 3221 mm – 140x140

Bjelkeprofilen består av fire stk. kvadratiske hulprofiler med stål kvalitet S355J2H og dimensjon 140x140x10. Bjelken har en lengde på 3221 mm og veier cirka 152 kg. De er kappet med en vinkel på 119° og 210° i begge ender slik at de passer med de vertikale og horisontale bjelkene. Se arbeidstegning for mer detaljert informasjon. {V12}

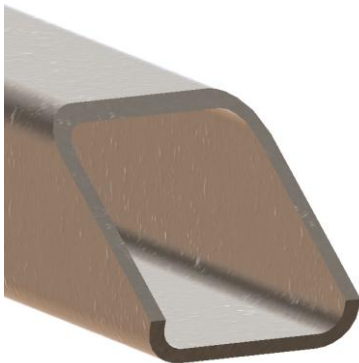


Figure 45

Avstiver kortside 2500 mm- 140x140

Bjelkeprofilen består av to stk. kvadratiske hulprofiler med stål kvalitet S355J2H og dimensjon 140x140x10. Bjelken har en lengde på 2500 mm og veier cirka 117 kg. De er kappet med en vinkel på 142° og 128° i begge ender slik at de passer med de vertikale og horisontale bjelkene. Se arbeidstegning for mer detaljert informasjon {V12}



Figure 46

5 STRUKTUROPTIMERING (ANSYS)

5.1 Strukturspenninger

I henhold til 2.7-1 skal rammen modelleres med realistiske påførende laster, og det er vist eksempel på hvordan en FEM analyse bør utføres.

- Lastene fordeles kun på de tverrgående profilene i bunn av kurven. På denne måten vil resultatet bli mer konservativt i forhold til spenninger. Kraftfordeling på de tre profilene blir da følgende: $q = \frac{2,5 \cdot R \cdot g}{l_{tot}} = \frac{2,5 \cdot 26000 \cdot 9,81}{3 \cdot 2000} = 106,3 N/mm^2$
- For at systemet skal kunne løses må det være minst en kjent frihetsgrad. Fjærene gjør at systemet blir stive nok til å kunne løses, uten at det vil påvirke resultatet nevneverdig. I tillegg til fjærene er systemet låst i løftehodet.

Bunnprofilene

Disse profilene vil naturlig nok vise store påkjenninger i Ansys da de blir belastet direkte av lastkreftene. Det er vanskelig og verifisere spenningen mot håndberegninger da de vertikale støttebjelkene under løfteørene påfører store momenter i profilet.

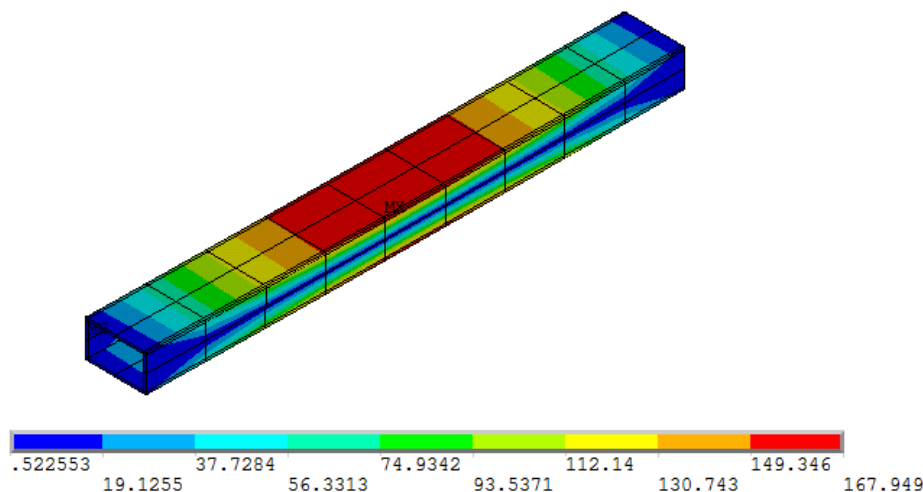


Figure 47: Spenningsfordelingen fra Ansys

Table 1: Påkjenninger og teknisk beskrivelse av bunnprofil

Maksimale påkjenninger fra Ansys			Teknisk beskrivelse av profilet	
Hva	Verdi	Element	Stålkvalitet	S355J2H
Fx	29 452 N	166	Flytegrense	355 MPa
Mz	$67 \cdot 10^6$ Nmm	166	Strekfasthet	510-680 MPa
My	$3,1 \cdot 10^6$ Nmm	161	E – modul	$2.1 \cdot 10^5$ N/mm ²
DMX	14,6 mm	166	Profil	150x250x10 [mm]
SMN	1,3 MPa	161	Lengde	2000 mm
SMX	189,5 MPa	166	Vekt pr m	57 kg/m

Hovedprofil mellom løfteørene

Profilet som løfteørene er festet til vil utsettes for store påkjenninger da kraften fra stålwiren fører til bøyespenninger og store trykkspenninger. Profilet må sjekkes grundig da det i henhold til standarden er krav til knekkberegninger for de mest trykkutsatte profilene,

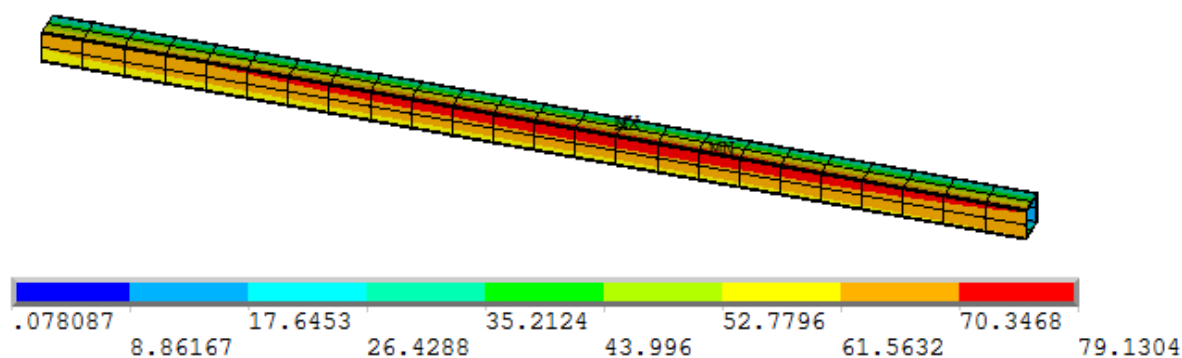


Figure 48: Spenningsfordelingen fra Ansys

Tabell 15

Maksimale påkjenninger fra Ansys			Teknisk beskrivelse av profilet	
Hva	Verdi	Element	Stålkvalitet	S355J2H
Fx	300 000 N	495	Flytegrense	355 MPa
Mz	$5,0 \cdot 10^6$ Nmm	494	Strekkfasthet	510-680 MPa
My	$13,1 \cdot 10^6$ Nmm	492	E – modul	$2.1 \cdot 10^5$ N/mm ²
DMX	14,6 mm	494	Profil	200x200x10 [mm]
SMN	- MPa	494	Lengde	6000 mm
SMX	78,5 MPa	494	Vekt pr m	57 kg/m

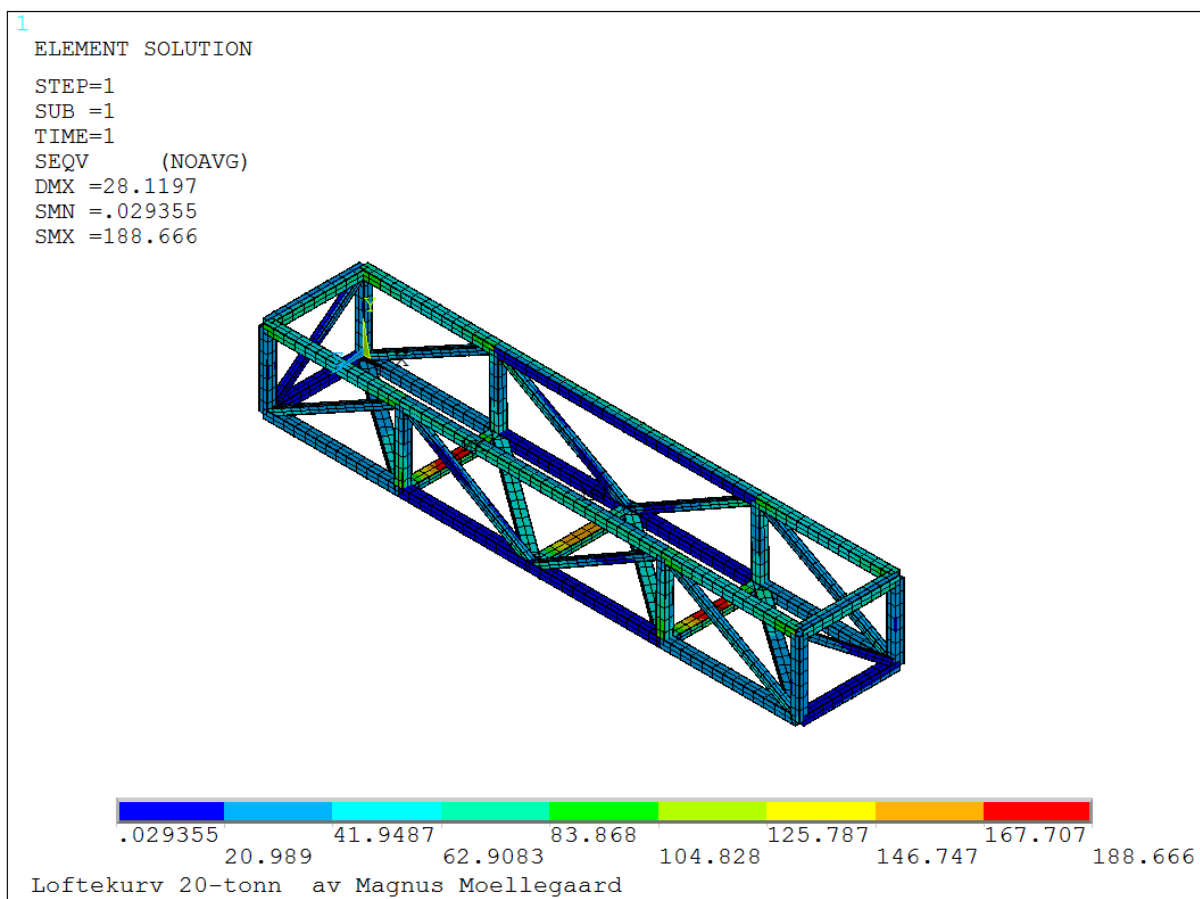


Figure 49: Spenningsbilde av hele kurven fra Ansys

5.2 Materialvalg

Generelt

Stål er en legering av grunnstoffene jern og karbon, hvor karbon innholdet kan være opp til rundt 2 %. De aller fleste konstruksjoner som benyttes offshore er konstruert i stål som kalles for konstruksjonsstål. Her er karboninnholdet mye lavere og overskrider sjelden et karboninnhold som er høyere enn 0,25 %.[S.4] Årsaken til at det er benyttet så store mengder konstruksjonsstål er på grunn av dens gode egenskaper i form av styrke, formbarhet, sveisbarhet og pris.[15]

Stålkvaliteten som det benyttes mest av er høyfast stål og 350 MPa stålet. Høyfast stål defineres som stål med minimum flytspenning på 420 MPa og har generelt sett bedre egenskaper enn 350 MPa stålet. Fordeler med konstruksjoner i høyfast stål er blant annet redusert stålvekt og redusert sveisevolum, men det har en høyere pris enn 350 MPa stålet. I tillegg er det lite hensiktsmessig å benytte høyfast stål dersom dimensjonskriteriene er på grunnlag av stålets E – modul, slik som knekking, utmatting og deformasjon. Det er derfor valgt å benytte en stålkvalitet med flytegrense lik 355 MPa. [S.3]

Tabell 16: Mekaniske egenskaper av S355J2H

Stålkvalitet	S355J2H
Standard	EN 10219-1:2006
Flytegrense	355 MPa
Strekkefasthet	510 – 680 MPa
Forlengelse	20
Skårslagsprøve	-40°C

Tabell 17: Kjemiske sammensetningen av S355J2H

	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>Al</i> <i>total</i>	<i>CEV</i>
<i>Ruukki standard stålkvalitet S355J2H</i>							
<i>Typisk %</i>	<i>0,08</i>	<i>0,18</i>	<i>1,40</i>	<i>0,01</i>	<i>0,006</i>	<i>0,030</i>	<i>0,32</i>
<i>Maksimum %</i>	<i>0,16</i>	<i>0,25</i>	<i>1,60</i>	<i>0,020</i>	<i>0,012</i>	<i>0,020</i>	<i>0,39</i>
<i>S355J2H EN 10219</i>							
<i>Maksimum %</i>	<i>0,22</i>	<i>0,55</i>	<i>1,60</i>	<i>0,035</i>	<i>0,035</i>	<i>0,020</i>	<i>0,045</i>

Korrosjon

Løftekurven er svært utsatt for korrosjonsangrep da den opererer offshore. Det er derfor viktig at materialene overflatebehandles og beskyttes mot korrosjon. I DNV 2.7-1 skal alle overflater beskyttes med permanent sklisikkert middel.

6 Produksjon og sammensetning

Etter at kurven er ferdig dimensjonert og tegnet i Solid Works blir arbeidstegningene sendt til Ruukki hvor de blir kappet og skåret til. Bjelkene vil så bli fraktet til et verksted hvor materialene i første omgang blir grov renset og klargjort til sveising. Dette innebærer for løftekurvens del, fusing av hjørnene og eventuelt materialfylling ved endene av de vertikale bjelkene. [figur- 34 og 42]

Etter at løftekurven er sveiset sammen må overflatene inspiseres og klargjøres. Skarpe kanter må grades, og overflatene skal pusses og slipes til for å unngå sprekkinitiering. Løftekurven skylles og tørkes ved blåsing før overflatebehandlingen begynner der alle overflatene dekkes.

Testing

Etter produktet er ferdig produsert skal den testes for store påkjenninger. I henhold til DNV 2.7-1 skal følgende tester utføres.

- Prototype skal dropptestes der den slippes i fritt fall fra minst 50 mm.
- Kurven skal være løftet i fem minutter før måling av deformasjoner.
- Prototypen skal testes med en last på 2,5 x MGW

Merking

I henhold til DNV 2.7-1 er det satt krav til merking av offshore containere.

- Produsent/fabrikant
- Produksjonsår
- Serienummer/fabrikasjonsnummer
- Egenvekt/tomvekt
- Nyttelast
- Totalvekt/MGW

Figuren under viser de viktigste merkingene som man ofte ser på containere



Figure 50: Merking iht. DNV 2.7-1

I tillegg skal løfteutstyret ha følgende identifikasjons merking.

- CE merket og referanse til DNV 2.7-1
- Antall løftestropper + diameter, og antall forløpere + diameter
- Produsent/fabrikant stempel
- Vinkel på wirestroppene
- Sjakkelse størrelse
- WLL

Transport

I denne oppgaven er det ikke utført beregninger av gaffeltrucklommene, men det er gjort en kort vurdering av det. Gaffeltrucklommer kan være veldig nyttig å ha, og det forenkler forflytting av kurven rundt til de ulike avdelingene på verkstedet. I henhold til DNV 2.7-1 stilles det følgende krav for en container med lengde som er større enn 12 000 mm og mindre enn 18 000 mm. [17]

- Lommene skal ha minimum en åpning på 200 mm x 90 mm.
- Minimum avstand fra senter av lommene er 2 050 mm
- Kurven kan kun transporteres ubelastet, det vil som tom.

Fra verkstedet blir kurven transportert med lastbilhenger.

7 PRESENTASJON AV LØSNING (3D)

7.1 Visualisering

Under vil dere se renderte bilder av løftekurven som er modellert i 3D programmet Solid Works. Det er fremvisning av ferdigkappet maskinert stål og bearbeidet børstet stål.

Maskinert stål

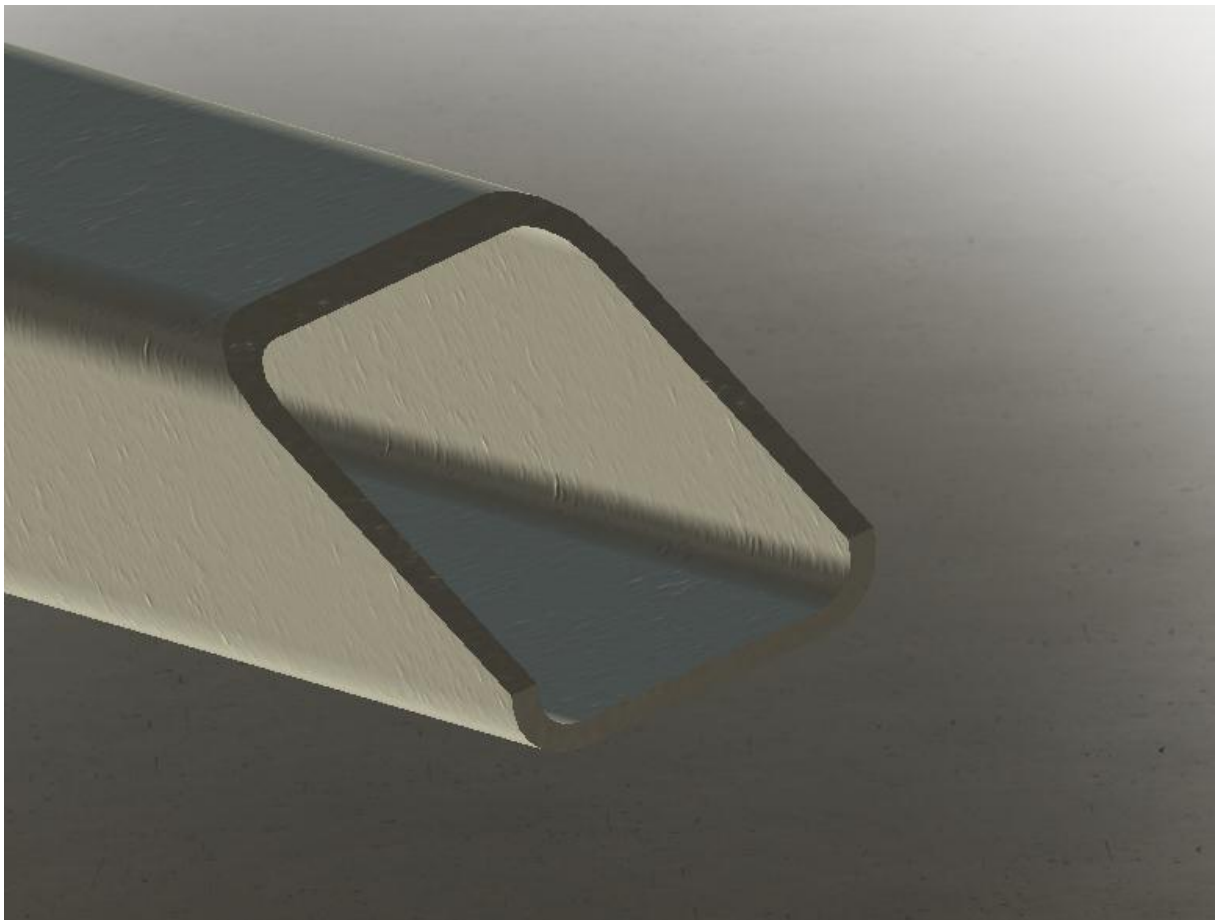


Figure 51: Ferdigkappet grov maskinert stål

Børstet stål

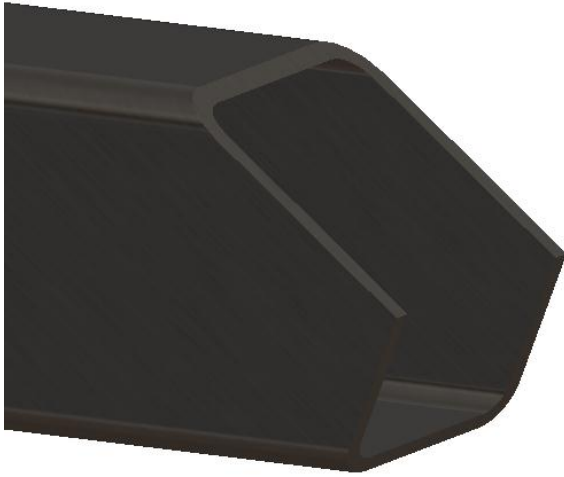


Figure 52 viser en ferdigkappet bjelke i børstet stål



Figure 53 viser midtpunktet av kurven langs x-aksen. Bjelkene er plassert slik for at kraftfordelingen skal bli optimal.

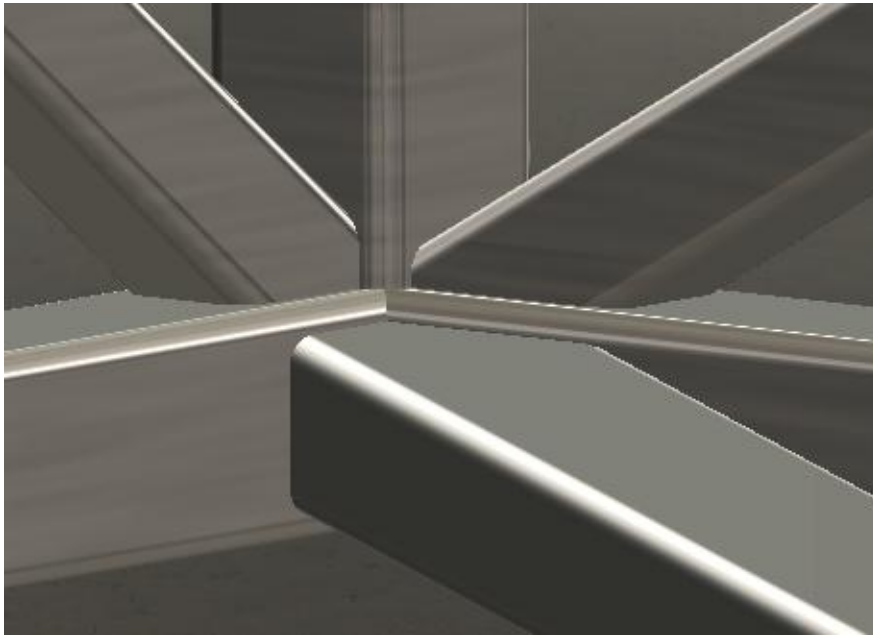


Figure 54 viser et hjørne i bunn hvor seks forskjellig bjelker settes sammen

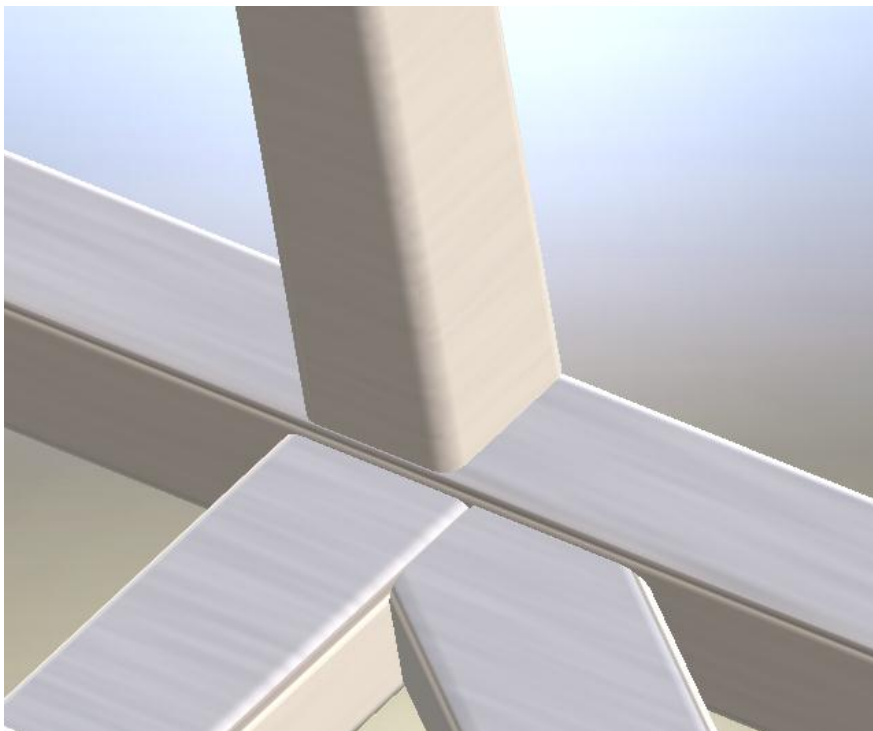


Figure 55 viser knutepunkt mellom bunnbjelkene med lysere bakgrunn.



Figure 56 viser løfteøret med skiver og plate, sett ovenfra.



Figure 57 viser kappingen av løfteøret grunnet full gjennomgående k-sveis



Figure 58 viser sjakkelen festet til løfteøret

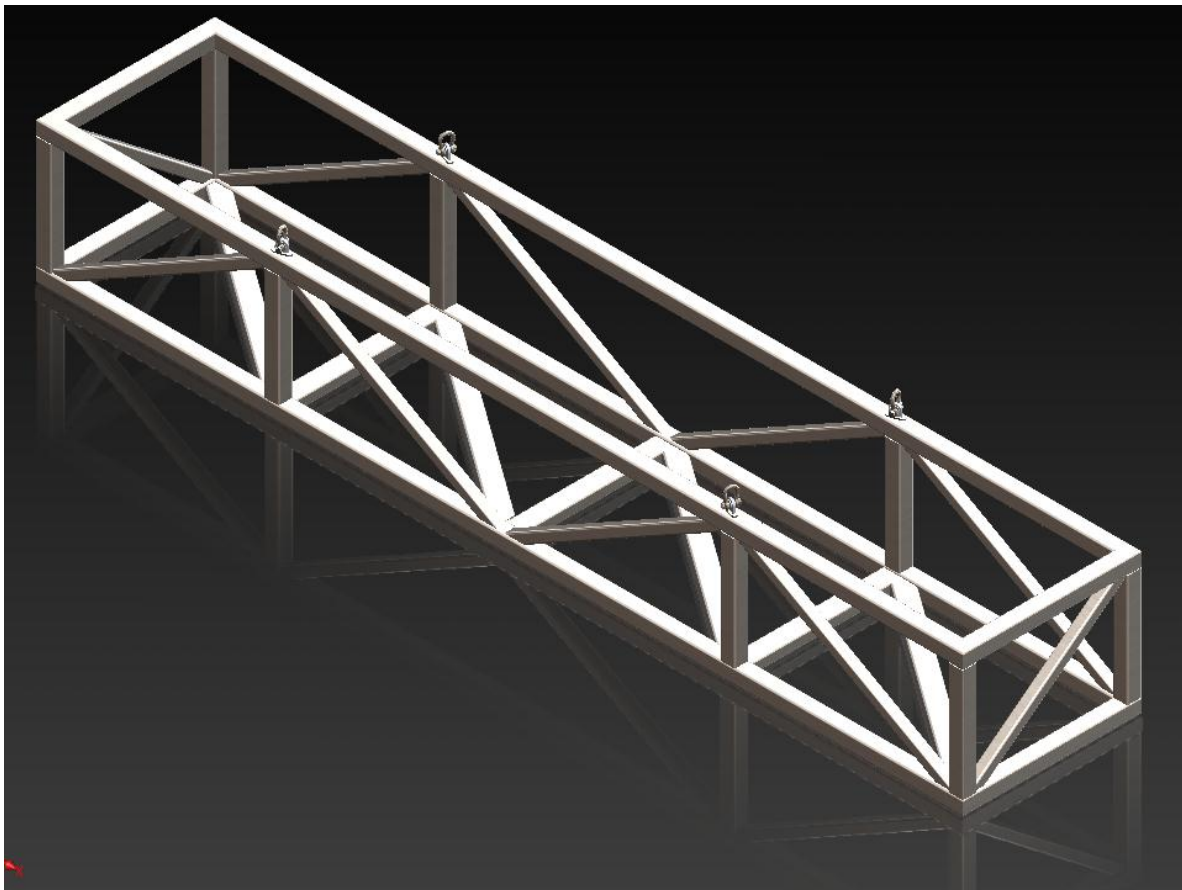


Figure 59: Løftekurv

7.2 Material- og produksjonskostnader

Materialkostnader

Bjelkeprofiler fra Ruukki iht. arbeidstegning

	Enhetskostnad	Kapp pr. stk.	Antall	Totalkost i kr.
Tegning 1:	16 000	748	4	66992
Tegning 2:	2562	748	4	13240
Tegning 3:	2105	125	3	6690
Tegning 4.1:	3632	748	2	8760
Tegning 4.2:	3650	748	2	8796
Tegning 5:	1600	125	8	13800
Tegning 8.1:	2260	748	4	12032
Tegning 8.2:	2230	748	4	11912
Tegning 9:	1730	748	2	4956
Tegning P:	650		4	2600
Tegning L:	900		4	3600
Tegning C:	1200		8	9600
Antall enheter			49	
Sum pris				162978

Løfteutstyr fra Certx

	Enhetskostnad	Antall	Totalkost i kr
17 tonn offshore sjakkel:	1418	4	5672
Wirestropp 36 mm: L=2m	14550	4	58200
Løftehode 45 mm offshore	6390	1	6390
Wirestropp m/øye + 45 tonn krok	95250	1	95250
Antall enheter		10	
Sum pris			165512

Produksjonskostnader

	Pris pr. time	Antall	Totalkost i kr
Montering			
Totalt	480	11,5	5520
Sveis			
K-sveis	480	4	1920
Enkel buttsveis	480	15	7200
Kilsveis	480	45	21600
Overflatebehandling			
Totalt	480	5	2400
Sum Pris			38640
Total kostnad i kr.			367130

7.3 Forbedringer

- Etter fullførte styrkeberegninger og 3D tegninger ble det oppmerksomhet rundt plassering av avstiverne. Som det tydelig kommer frem i arbeidstegningene kunne en annen plassering av støttebjelkene redusert materialkostnaden da kostnadene øker ved flere forskjellige kapp. Kraftoverføringen vil ikke være like god og nøyaktig men den vil mest sannsynlig være god nok slik at det ville vært lønnsomt å endre plasseringen av støttebjelkene
- Kappet på en annen måte i hjørnene slik at sveiseegenskapene forsterkes

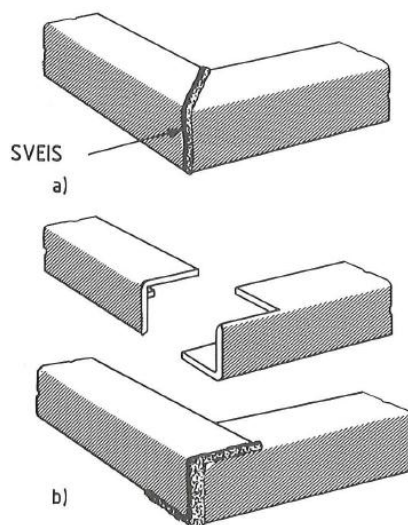


Figure 60: Bildet b) viser et annet alternativ til kapp og sveising av hjørnene.[S5]

- Endre formen på platen slik at den for et større areal og som fordeler spenningene bedre.

8 KONKLUSJON OG ANBEFALINGER

8.1 Konklusjon og prosessdiskusjon

Hovedmålet med oppgaven var å dimensjonere en løftekurv for offshoreoperasjoner med en tillatt last på 20 tonn. Kurven skulle ha innvendig lengde, bredde og høyde på henholdsvis 12-, 2- og 1,5 meter, og primært benyttes til å løfte lengre stålprofiler.

Prosjektprosess

Prosjektet ble påbegynt den 1. februar 2012 grunnet eksamen 31. januar 2012. I startfasen ble det gjort en rask litteraturstudie hvor det ble forstått at det ikke fantes så mye av slike løftekurver, og at det heller er mer vanlig å benytte containere. Strukturen av kurven måtte dermed designes. Kurven skulle designes etter DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3, og i følge planen skulle undertegnede være kjent med disse før beregningene startet. Det var han imidlertid ikke, noe som skulle vise seg å gjøre prosjektet mer tidkrevende da nye krav ble oppdaget underveis og kurven måtte forandres.

FEM analyser av kurven ble utført i modelleringsprogrammet Ansys Classic, og etter endelig valg av bjelkedimensjoner og struktur kunne resterende beregninger begynne. Valg av sjakkel, dimensjonering av løfteøret, knekeberegninger og sveiseforbindelser ble utført og formlene ble programmert inn i Excel, slik at man effektivt kunne foreta eventuelle endringer. Etter at beregningene var utført og kontrollert opp mot regelverk og håndberegninger, ble kurven tegnet i 3d modelleringsprogrammet Solid Works.

Som nevnt ovenfor måtte det utføres en del endringer underveis. Og i denne type konstruksjon påvirker ofte flere utregninger hverandre. Følgende faktorer førte til de mest tidsrammede endringer av oppgaven.

- Endret lastfaktor etter samtale med Øistein Riber fra Datek gjorde at dimensjonene på bjelkene måtte øke. Det betydde nye verdier for samtlige utregninger da egenvekten av kurven blir høyere.

- Endret profiltype av bærebjelkene i bunn på grunn av sveis. Til å begynne med var hele kurven konstruert i kvadratisk hulprofiler av samme dimensjon, men ved å endre bærebjelkene i bunn til rektangulære og legge de på lav-kant, ville det øke sveiseegenskapene samt gjøre det enklere for sveiseren. På grunn av dette måtte modellen i Ansys Classic endres og knekkberegningene måtte gjøres på nytt.
- Redusert plass til mellomplaten og løfteøret da det ikke var tatt hensyn til radiusen av kanten på bjelkene. Dette gjorde at størrelsen av løfteøret og mellomplaten måtte innskrenkes.

Konklusjon

Løftekurven er dimensjonert etter DNV 2.7-1 og DNV 2.7-3 med en lastfaktor på 2,5 og tilfredsstiller kravene om deformasjon og tillatt spenning. Sveiseforbindelser er beregnet i henhold til EC3 og oppfyller kravene. Knekkberegningene er dimensjonert etter forenklet interaksjonsmetode, som i de fleste tilfeller kommer ut på konservativ side i forhold til EC3. Utmatting er sjekket opp mot DNV RP C203 og FEM analysene i Ansys Classic er verifisert mot håndberegninger. Kurven er designet slik at avstiverne viderefører kraften på en god måte, men dette går da på bekostning av enkle produksjonsegenskaper og kostnader på grunn av en mer komplisert kapp. Kurven består av vanlig konstruksjonsstål S355J2H som må overflatebehandles for korrosjon.

8.2 Videre arbeid

- Vurdere små endringer av designen slik at alle avstiverne er like. Dette vil redusere kostnadene noe og forenkle arbeidet til sveiseren.
- Vurdere om det er behov for et slags golv/gitter i bunn av kurven slik at eventuelle løse deler ikke faller ned og påfører ødeleggelser i verste fall ulykker.
- En type beskyttelse og fastinnspennings elementer på innsiden av kurven slik at sjansen for ødeleggelser av bjelkene reduseres ved innlastning av stålprofiler. Dette ville redusert støtbelastninger og økt kurvens utmattingsegenskaper.
- Utføre støtbelastninger i henhold til DNV 2.7-1. [16]
- Utføre beregninger og designe gaffeltrucklommer i henhold til DNV 2.7-1. [17]
- Utføre beregninger og designe beskyttelsesbjelker som festes under bunnbjelkene.
- Vurdere om kurven bør designes slik at de kan stables i høyden.

9 LITTERATURREFERANSER

Skriftlige kilder:

- [S.1] **Geir Terjesen**, Globale knekkeberegninger uten standard, utlevert kompendium TMP 301, s 11
- [S.2] **Geir Terjesen**, Globale knekkeberegninger uten standard, utlevert kompendium TMP 301, s 10
- [S.3] **Helge Helgesen**, Sveiste konstruksjoner 1987, universitetsforlaget,
ISBN 82-00-35706-6
- [S.4] **Åsmund Gunleiksrud**, Materialteknikk offshore, Del 1: Konstruksjonsstål offshore, s 69 – 70.
- [S.5] **Helge Helgesen**, Sveiste konstruksjoner 1987, universitetsforlaget,
ISBN 82-00-35706-6, side 74

Internettkilder:

- [1] 1859 Grunnlaget, fra: <http://www.oljenorge40aar.no>
- [2] “ Offisiell åpning av norsk oljeproduksjon på Gulftide”
Fra: <http://www.kulturminne-ekofisk.no>
- [3] “ AF Gruppen – rivning og gjenvinning av oljeinstallasjoner ” Fra: <http://www.bi.no>
- [4] “ AF tildelt stor kontrakt av Statoil på Snøhvit” Fra: <http://www.afgruppen.no>
- [5] Informasjon via e-post med Amund Moen
- [6] DNV 2.7-1- Offshore Containers 1.2.5: Fra:
<http://exchange.dnv.com/publishing/StdCert/Standard2-7-1.pdf>
- [7] DNV 2.7-3- PO Units figure 1-1
- [8] <http://www.standard.no/Global/PDF/Petroleum/r002u2u2%20med%20warning.pdf>
- [9] DNV 2.7-1 – Offshore Containers 4.3.1
- [10] DNV 2.7-3 – PO Units 3.4.5, fra:
<http://exchange.dnv.com/publishing/StdCert/Standard2-7-3.pdf>
- [11] DNV 2.7-1 – Offshore Containers, 4.2.3.1
- [12] DNV 2.7-1-Offshore Containers, 8.3
- [13] EC3-forenklet metode
- [14] DNV 2.7-1-Offshore Containers, 4.4.1
- [15] Store Norske Leksikon, fra: <http://snl.no/st%C3%A5l>
- [16] DNV 2.7-1 Offshore Containers, 4.2.4 – Impact loads
- [17] DNV 2.7-1 Offshore Containers, 4.4.6- Fork lift pockets

Elektronisk vedlegg:

Ansys input fil:	plot av deformasjon og von mises spenninger
Ansys input fil:	listing av reaksjonskrefter
Ansys input fil:	selekterer en bjelke
Solid Works:	Drawing- arbeidstegninger
Solid Works:	Løftekurv assembly
Excel regneark:	Grunnlagsberegninger

10 VEDLEGG

- Vedlegg1: Krefter og momenter fra Ansys av bjelken mellom løfteørene
- Vedlegg2: Krefter og momenter fra Ansys av bærebjelkene i bunn
- Vedlegg3: Dimensjoner av kvadratiske hulprofiler
- Vedlegg4: Dimensjoner av rektangulære hulprofiler
- Vedlegg5: Tabell over gaffellommene
- Vedlegg6: Utstyrsfaktor liste
- Vedlegg7: Eksempel av merking av løfteutstyr iht. DNV 2.7-1
- Vedlegg8: Sjakkeldimensjoner fra Cetex
- Vedlegg9: Dimensjoner over løftehodet fra Certex
- Vedlegg10: Tabell over wirestroppene
- Vedlegg11: Tabell over forløper
- Vedlegg12: Arbeidstegninger

Vedlegg 1: Krefter og momenter av bjelkene mellom løfteørene fra Ansys

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

STAT ELEM	CURRENT FXI	CURRENT FXJ	CURRENT MZI	CURRENT MZJ	CURRENT MYI	CURRENT MYJ
483	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.23543E+07	-0.28132E+07	-0.12166E+08	-0.12374E+08
484	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.28133E+07	-0.32302E+07	-0.12374E+08	-0.12557E+08
485	-0.29711E+06	-0.29712E+06	-0.32303E+07	-0.36044E+07	-0.12557E+08	-0.12716E+08
486	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.36044E+07	-0.39350E+07	-0.12716E+08	-0.12849E+08
487	-0.29712E+06	-0.29711E+06	-0.39351E+07	-0.42214E+07	-0.12849E+08	-0.12958E+08
488	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.42215E+07	-0.44631E+07	-0.12958E+08	-0.13040E+08
489	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.44632E+07	-0.46596E+07	-0.13040E+08	-0.13098E+08
490	-0.29711E+06	-0.29712E+06	-0.46596E+07	-0.48105E+07	-0.13098E+08	-0.13129E+08
491	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.48105E+07	-0.49155E+07	-0.13129E+08	-0.13135E+08
492	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.49155E+07	-0.49744E+07	-0.13135E+08	-0.13115E+08
493	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.49744E+07	-0.49870E+07	-0.13115E+08	-0.13069E+08
494	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.49870E+07	-0.49535E+07	-0.13069E+08	-0.12997E+08
495	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.49535E+07	-0.48737E+07	-0.12997E+08	-0.12900E+08
496	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.48737E+07	-0.47480E+07	-0.12900E+08	-0.12778E+08
497	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.47479E+07	-0.45764E+07	-0.12778E+08	-0.12630E+08
498	-0.29712E+06	-0.29711E+06	-0.45764E+07	-0.43594E+07	-0.12630E+08	-0.12458E+08
499	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.43594E+07	-0.40974E+07	-0.12458E+08	-0.12261E+08
500	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.40973E+07	-0.37909E+07	-0.12261E+08	-0.12041E+08
501	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.37908E+07	-0.34404E+07	-0.12040E+08	-0.11796E+08
502	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.34404E+07	-0.30467E+07	-0.11796E+08	-0.11528E+08
503	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.30467E+07	-0.26106E+07	-0.11528E+08	-0.11238E+08
504	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.26105E+07	-0.21328E+07	-0.11238E+08	-0.10925E+08
505	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.21327E+07	-0.16143E+07	-0.10925E+08	-0.10591E+08
506	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.16142E+07	-0.10561E+07	-0.10591E+08	-0.10236E+08

MINIMUM VALUES

ELEM	495	494	494	493	492	491
VALUE	-0.29712E+06	-0.29712E+06	-0.49870E+07	-0.49870E+07	-0.13135E+08	-0.13135E+08

MAXIMUM VALUES

ELEM	483	506	506	506	506	506
VALUE	-0.29711E+06	-0.29711E+06	-0.16142E+07	-0.10561E+07	-0.10591E+08	-0.10236E+08

Vedlegg 2: Krefter og momenter av bærebjelkene i bunn fra Ansys

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT

***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

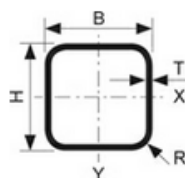
STAT ELEM	MIXED FXI	MIXED FXJ	MIXED MZI	MIXED MZJ	MIXED MYI	MIXED MYJ
161	-28658.	-28745.	0.16716E+07	0.27866E+08	-0.30900E+07	-0.29837E+07
162	-28749.	-28890.	0.27867E+08	0.47562E+08	-0.29837E+07	-0.28784E+07
163	-28893.	-29024.	0.47562E+08	0.60752E+08	-0.28784E+07	-0.27737E+07
164	-29026.	-29103.	0.60753E+08	0.67436E+08	-0.27737E+07	-0.26693E+07
165	-29104.	-29106.	0.67436E+08	0.67610E+08	-0.26693E+07	-0.25648E+07
166	-29105.	-29033.	0.67610E+08	0.61276E+08	-0.25648E+07	-0.24599E+07
167	-29031.	-28903.	0.61276E+08	0.48435E+08	-0.24599E+07	-0.23543E+07
168	-28900.	-28758.	0.48435E+08	0.29089E+08	-0.23543E+07	-0.22474E+07
169	-28753.	-28661.	0.29088E+08	0.32420E+07	-0.22474E+07	-0.21390E+07

MINIMUM VALUES						
ELEM	166	165	161	169	161	161
VALUE	-29105.	-29106.	0.16716E+07	0.32420E+07	-0.30900E+07	-0.29837E+07

MAXIMUM VALUES						
ELEM	161	169	166	165	169	169
VALUE	-28658.	-28661.	0.67610E+08	0.67610E+08	-0.22474E+07	-0.21390E+07

Vedlegg 3: Dimensjoner over kvadratiske hulprofiler

Dimensjoner



M = Vekt
A = Tverrsnittområde
 A_u = Utvendig overflateområde
I = Tregghetsmoment
W = Seksjoner/modulus

W_p = Plastisk seksjonsmodulus
i = Rotasjonsradius
 I_y = Vridningsmodulus
 W_y = Seksjonsmodulus i vridning
Teoretisk densitet = 7.85 kg/dm³

Tverrsnittegenskapene er beregnet ved bruk av nominelle dimensjoner H, B og T, og utvendig hjørneradius R:
R = 2.0 x T, når $T \leq 6.0$ mm
R = 2.5 x T, når $6.0 \text{ mm} < T \leq 10.0$ mm
R = 3.0 x T, når $T > 10.0$ mm

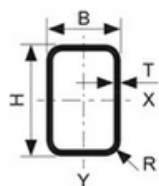
[Sammenlign](#)
[Skriv ut](#)

Anbefalte serier

H x B mm	T mm	M kg/m	A mm ² x 10 ²	A_u mm ² /m	$I_x = I_y$ mm ⁴ x 10 ⁴	$W_x = W_y$ mm ³ x 10 ³	$W_{px} = W_{py}$ mm ³ x 10 ³	$i_x = i_y$ mm x 10	I_y mm ⁴ x 10 ⁴	W_y mm ³ x 10 ³
140 x 140	10	38.1	48.57	0.517	1311.67	187.38	230.38	5.2	2273.9	290.85
200 x 200	10	57	72.57	0.757	4251.06	425.11	508.08	7.65	7071.73	651.48

Vedlegg 4: Dimensjoner over rektangulært hulprofil.

Dimensjoner



M = Vekt
A = Tverrsnittområde
 A_u = Utvendig overflateområde
I = Tregghetsmoment
W = Seksjoner/modulus

i = Rotasjonsradius
 I_y = Vridningsmodulus
 W_y = Seksjonsmodulus i vridning
Teoretisk densitet = 7,85 kg/dm³

Tverrsnittegenskapene er beregnet ved bruk av nominelle dimensjoner H, B og T, og utvendig hjørneradius R:
R = 2.0 x T, når $T \leq 6.0$ mm
R = 2.5 x T, når $6.0 \text{ mm} < T \leq 10.0$ mm
R = 3.0 x T, når $T > 10.0$ mm

[Sammenlign](#)
[Skriv ut](#)

Anbefalte serier.

H x B mm	T mm	M kg/m	A mm ² x 10 ²	A_u mm ² /m	I_x mm ⁴ x 10 ⁴	W_x mm ³ x 10 ³	W_{px} mm ³ x 10 ³	i_x mm x 10	I_y mm ⁴ x 10 ⁴	W_y mm ³ x 10 ³	W_{py} mm ³ x 10 ³	i_y mm x 10	I_y mm ⁴ x 10 ⁴	W_y mm ³ x 10 ³
250 x 150	10	57	72.57	0.757	5825.01	466	582	8.96	2634.2	351.23	409.17	6.02	6120.7	602.08

Vedlegg 5: Tabell over gaffeltrucklommene.

Guidance note 1:

It is recommended that pockets are located and used according to Table 4-1

Table 4-1 Recommended fork pocket distances and operational limitations		
Container length L (mm)	Min. distance between centres of pockets (mm)	Limitations
$L < 6000$	According to the above requirements.	If $3000 \leq L < 6000$, the pockets for loaded han- dling should be spaced at least 1500 mm apart.
$6\,000 \leq L \leq 12\,000$	2050	Pockets for loaded handling
	900	Pockets for empty handling
$12\,000 < L \leq 18\,000$	2050	Empty handling only
$L > 18\,000$	-	No pockets

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

Special requirements apply for fork pockets on tank containers

Vedlegg 5: Utstyrsfaktor

Table 8-1 Determination of Working Load Limit		
Rating (kg)	Enhancement factor	Minimum required Working Load Limit (WLL_{min}) (t)
500	-	7.00
1 000	-	7.00
1 500	-	7.00
2 000	3.500	7.00
2 500	2.880	7.20
3 000	2.600	7.80
20 500	1.143	23.44
21 000	1.139	23.92
21 500	1.135	24.39
22 000	1.130	24.86
22 500	1.126	25.33
23 000	1.121	25.79
23 500	1.117	26.25
24 000	1.112	26.70
24 500	1.108	27.15
25 000	1.104	27.59

Vedlegg 7: Merking av løfteutstyret

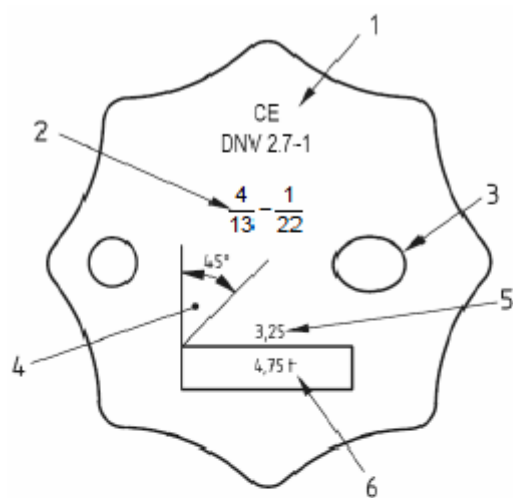


Figure 8-1
Example of identification tag for a chain sling – Front of identification tag.

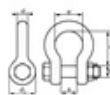
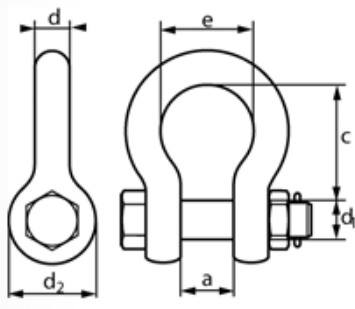
- 1) CE mark and Reference to this Standard for Certification
- 2) 4 legs of 13mm, 1 forerunner of 22mm (example)
- 3) Manufacturer's mark
- 4) Sling angle
- 5) Shackle size
- 6) WLL

Vedlegg 8: Sjakkell fra certex

Hjem / Produkter / 8. KROKER / SJAKLER / Sjakkell / **Sjakkell type H, DnV 2.7-1**



Sjakkell type H, DnV 2.7-1



Utførelse: H sjakkell med mutterbolt. Leveres ihht. U.S. spesifikasjon RR-C-271.
 Godkjent etter DnV 2.7-1.
 Kan leveres med 3.1B dokumentasjon.
Materiale: Høylegert stål, seigherdet. Grade 80
Merking: WLL, id på bøyte og bolt.
Prøvebelastning: 2 x WLL.
Sikkerhetsfaktor: Ihht. DnV 2.7-1.
Ytterbehandling: Varmgalvanisert.

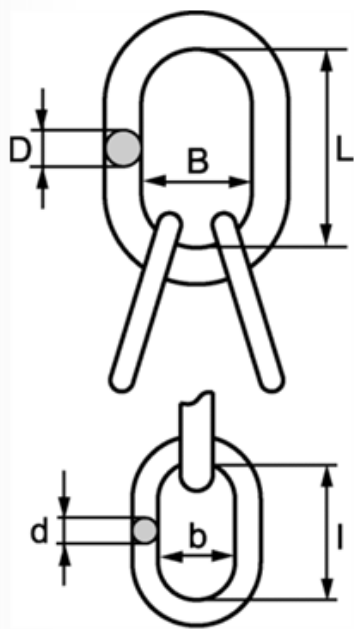
Art. nr	WLL tonn	Bolt Ø d1	a	c	d	d2	e	Vekt kg
08.506002GPP	2,0	16	21	51	13	33	33	0,42
08.50600325GPP	3,25	19	27	60	16	40	42	0,70
08.50600475GPP	4,75	22	31	71	19	47	51	1,2
08.5060065GPP	6,5	25	37	84	228	52	58	1,7
08.5060085GPP	8,5	28	43	95	25	58	68	2,5
08.5060095GPP	9,5	32	46	108	28	64	74	3,4
08.506012GPP	12,0	35	52	119	32	72	83	4,8
08.5060135GPP	13,5	38	57	132	35	74	89	7,0
08.506017GPP	17,0	42	60	146	38	84	98	9,0
08.506025GPP	25,0	50	74	178	45	105	127	15,0
08.506035GPP	35,0	57	83	197	50	127	138	21,0
08.506055GPP	55,0	70	105	255	65	152	185	41,0
08.506085GPP	85,0	83	127	330	75	165	190	62,0
08.506120GPP	120,0	95	144	381	95	215	238	110,0
08.506150GPP	150,0	108	165	400	105	245	275	160,0

Vedlegg 9: Løftehode

Hjem / Produkter / 7. LØFTEKOMPONENTER / TILBEHØR / Ringer og løkker / Løftehode klasse 8, DnV 2.7-1



Løftehode klasse 8, DnV 2.7-1



Materiale: Legert stål klasse 8.
Merking: Type og klasse.
Prøvelast: I henhold til DnV 2.7-1.
Sikkerhetsfaktor: Design faktor 4:1, I henhold til kravene i DnV 2.7-1.
Overflate: Lakker.
Standard: NS-EN 1677.

ADVARSEL: Må ikke varmebehandles.



Art. nr	Type	WLL tonn	B	D	L	b	d	l	Vekt kg
07.01MA22OF	22 MM	8,2	90	22	170	80	20	134	3,8
07.01MA25OF	25 MM	10,7	100	25	190	80	20	134	4,5
07.01MA28OF	28 MM	12,9	110	28	210	90	22	170	6,4
07.01MA32OF	32 MM	17,1	140	32	270	100	25	190	9,9
07.01MA38OF	38 MM	28,1	140	38	270	140	32	270	18,2
07.01MA45OF	45 MM	38,3	170	45	320	140	38	270	27,7
07.01MA50OF	50 MM	45,0	200	50	380	140	38	270	33,2
07.01MA60OF	60 MM	65,3	220	60	430	200	50	380	66,0

Vedlegg 10: Wirestropp fra certex



1-part med fiberkjerne - 1770 N/mm²

Wire	Maks arbeidsbelastning (WLL) i tonn		
Ø	⌋	⊙	U
mm	Rett løft	Snaret løft	U-form
3	0,09	0,07	0,18
4	0,15	0,12	0,3
5	0,25	0,2	0,5
6	0,35	0,28	0,7
7	0,5	0,4	1
8	0,7	0,55	1,4
10	1,05	0,85	2,1
12	1,55	1,2	3,1
14	2,12	1,7	4,2
16	2,7	2,2	5,4
18	3,4	2,7	6,8
20	4,35	3,4	8,7
22	5,2	4,1	10,4
24	6,3	5	12,6
26	7,2	5,8	14,4
28	8,4	6,7	16,8
32	11	8,8	22
36	14	11,2	28
40	17	13,6	34
44	21	16,8	42
48	25	20	50
52	29	23,2	58
56	33,5	26,8	67
60	39	31,2	78

Andre dimensjoner på forespørsel.

Vedlegg 11: Forløper fra Certex

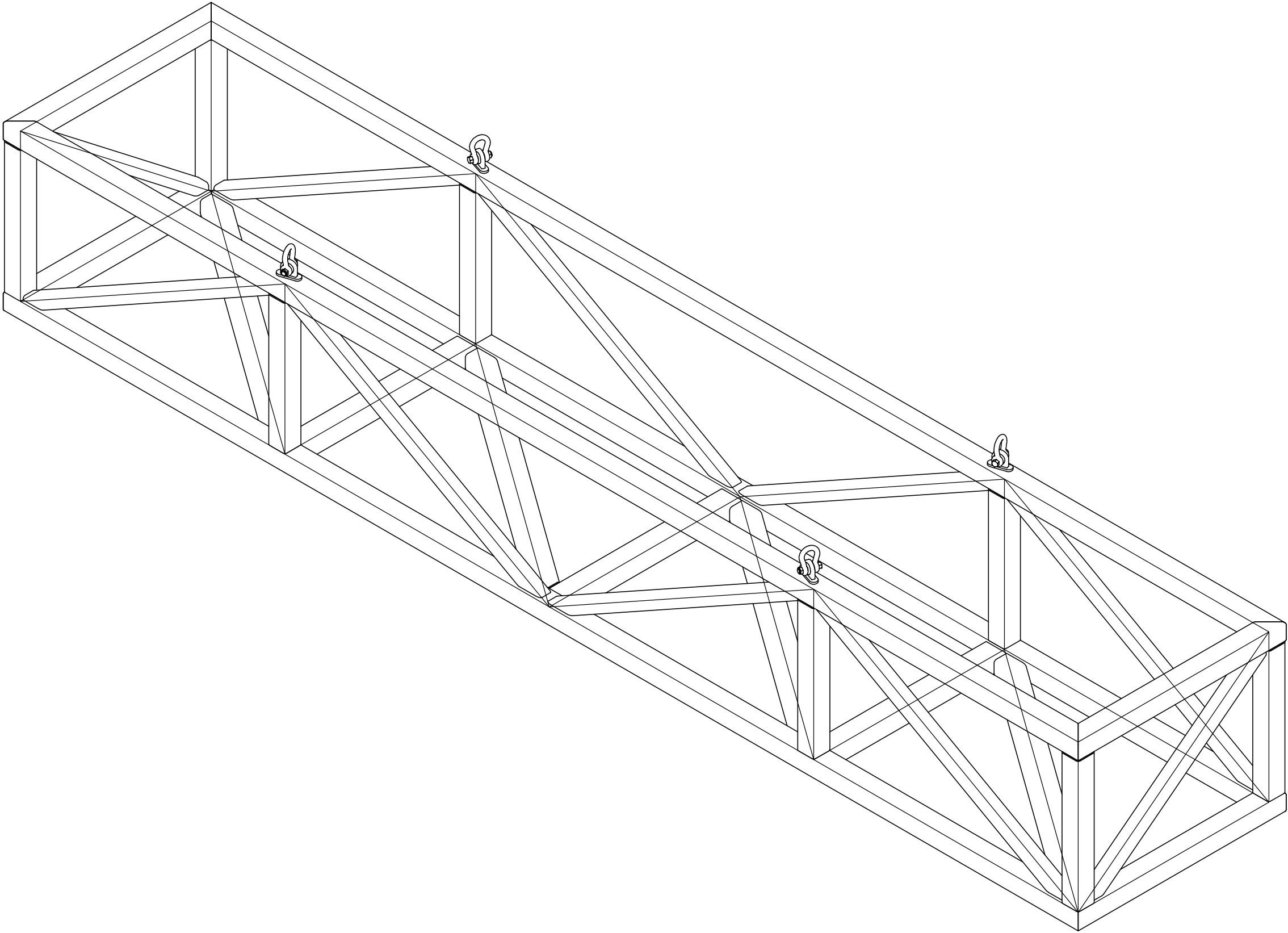


1-part med fiberkjerne - 1770 N/mm²

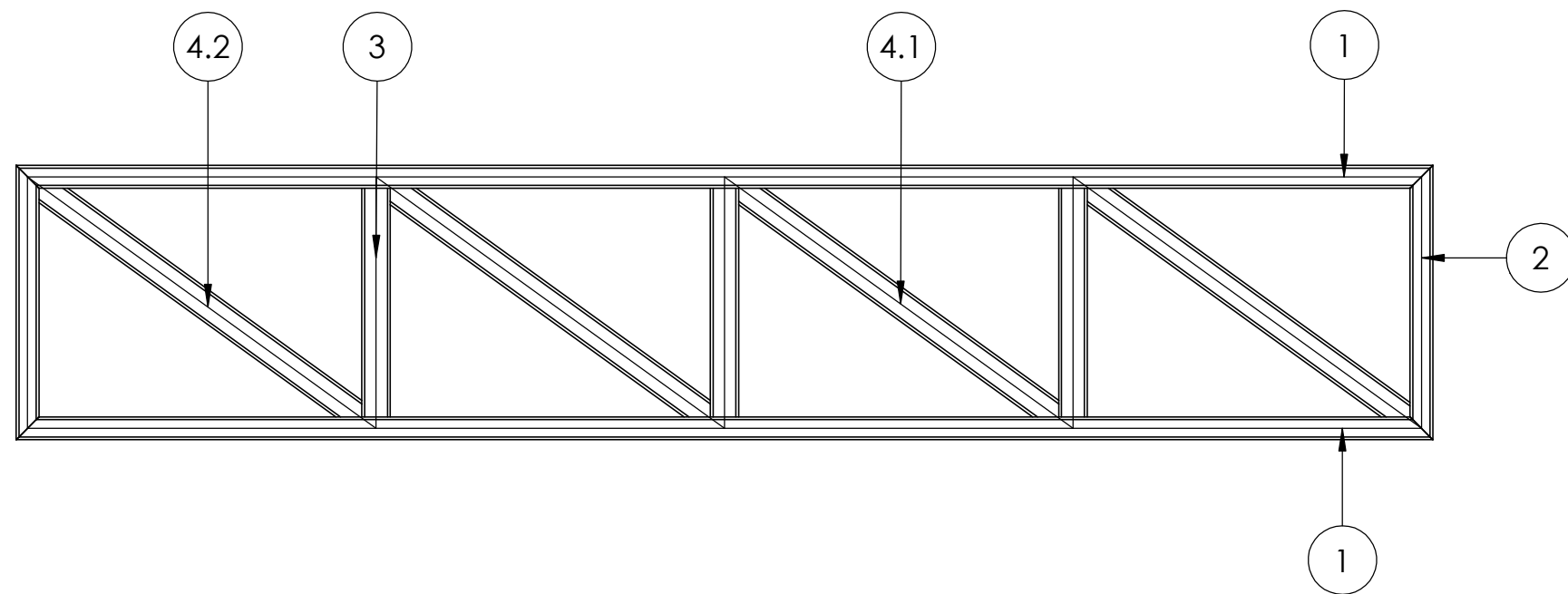
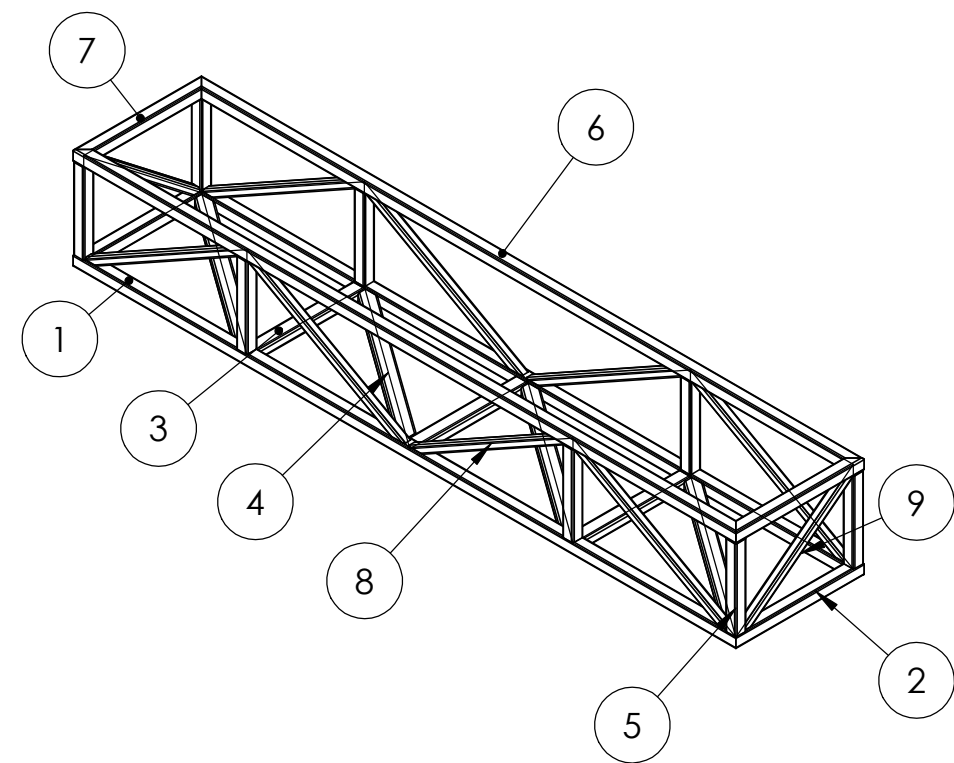
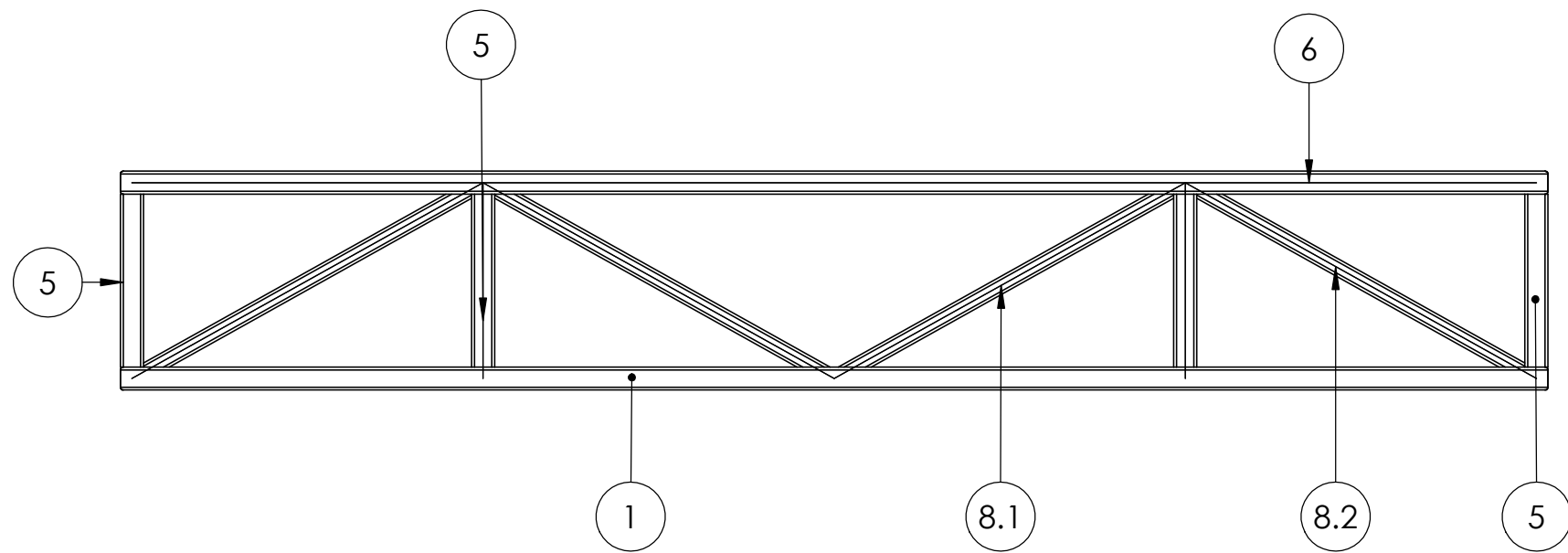
Wire	Maks arbeidsbelastning (WLL) i tonn		
Ø	⌋	⌋	U
mm	Rett løft	Snaret løft	U-form
3	0,09	0,07	0,18
4	0,15	0,12	0,3
5	0,25	0,2	0,5
6	0,35	0,28	0,7
7	0,5	0,4	1
8	0,7	0,55	1,4
10	1,05	0,85	2,1
12	1,55	1,2	3,1
14	2,12	1,7	4,2
16	2,7	2,2	5,4
18	3,4	2,7	6,8
20	4,35	3,4	8,7
22	5,2	4,1	10,4
24	6,3	5	12,6
26	7,2	5,8	14,4
28	8,4	6,7	16,8
32	11	8,8	22
36	14	11,2	28
40	17	13,6	34
44	21	16,8	42
48	25	20	50
52	29	23,2	58
56	33,5	26,8	67
60	39	31,2	78

Andre dimensjoner på forespørsel

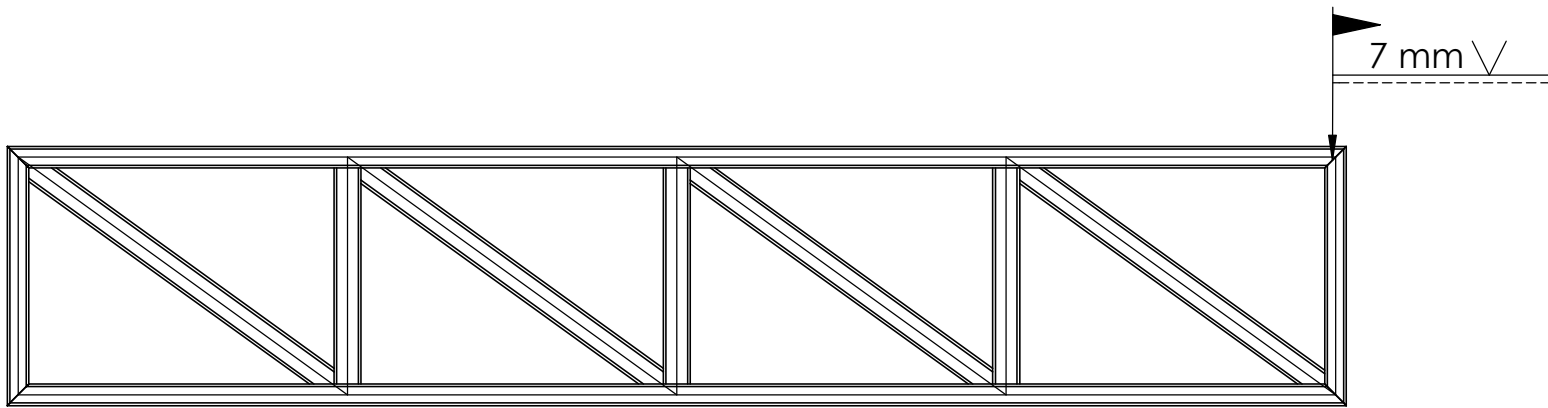
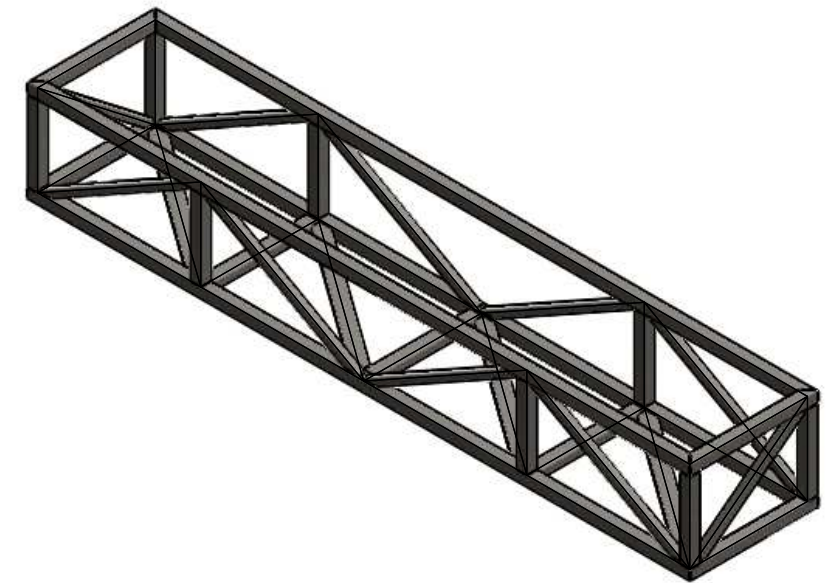
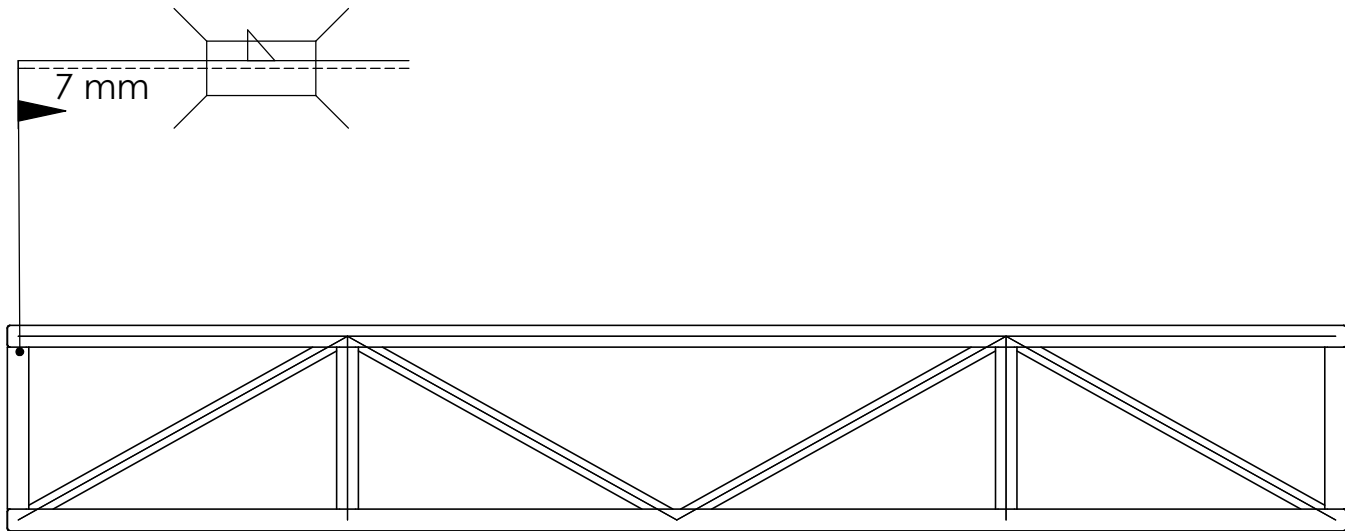
Vedlegg 12: Arbeidstegniner



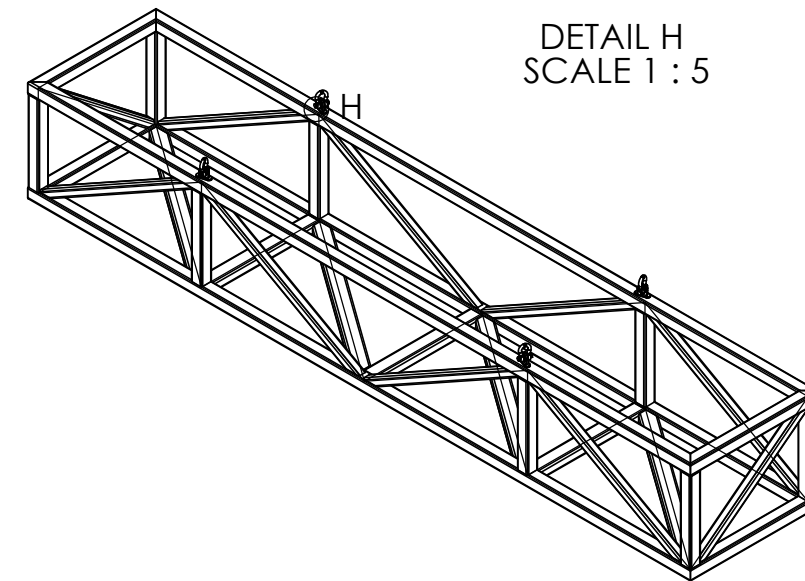
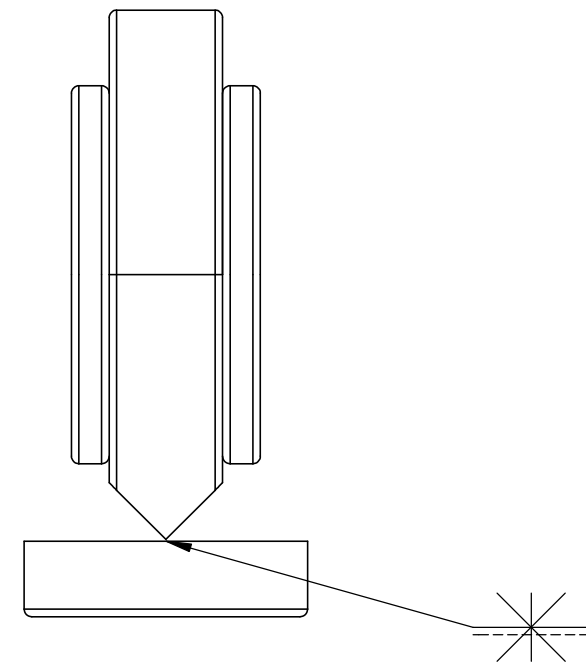
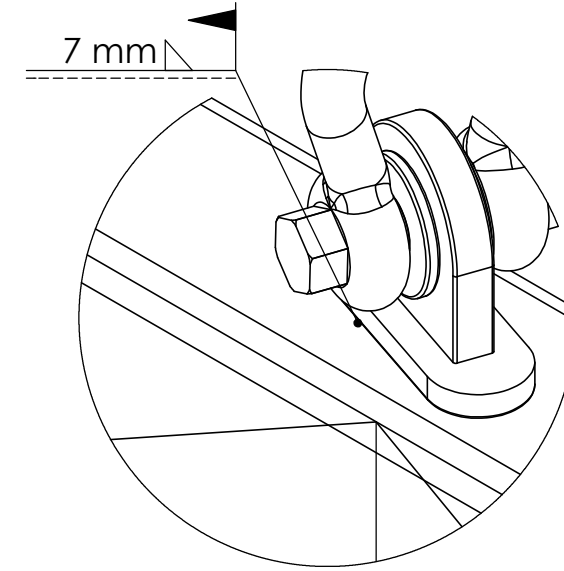
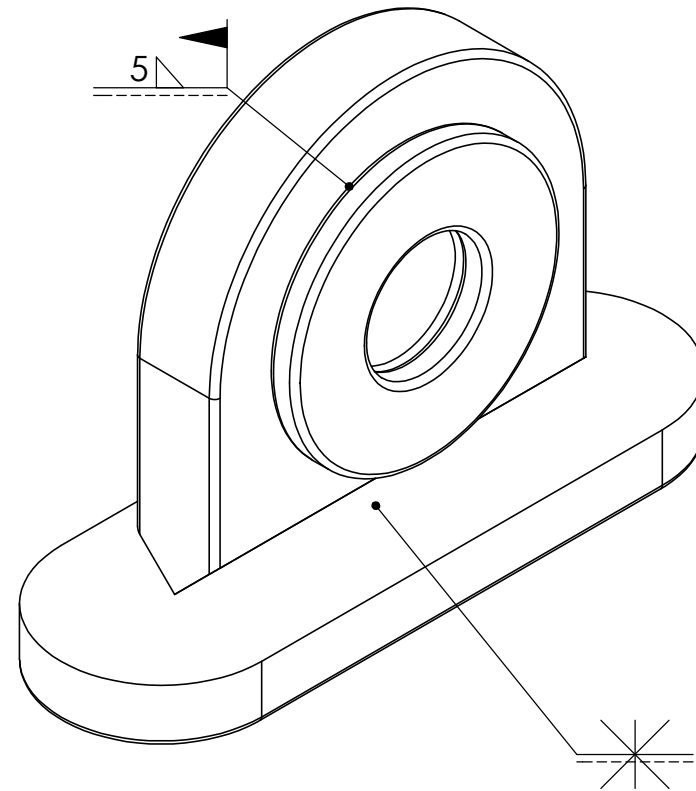
Kommentar:	KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard		
	LENGDE:	12 400		
	MATERIALE:	S355 J2H		
	ANTALL:	1		
	VEKT:	5895 kg		
		TITLE:	LØFTEKURV P 20 TONN	
		DWG NO.:	Løftekurv	A3
		SCALE: 1:40	SHEET 1 OF 17	



KOMMENTAR: Merk at 4.1 og 4.2 har forskjellig kapping i endene. Tilsvarende gjelder 8.1 og 8.2. Ballongene indikere rekkefølgen for sammensetning.	KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
	LENGDE:	12 400		
	MATERIALE:	S355 J2H	DWG NO. Sammensetning	A3
	ANTALL:	1		
	VEKT:	5895 kg		SCALE:1:60

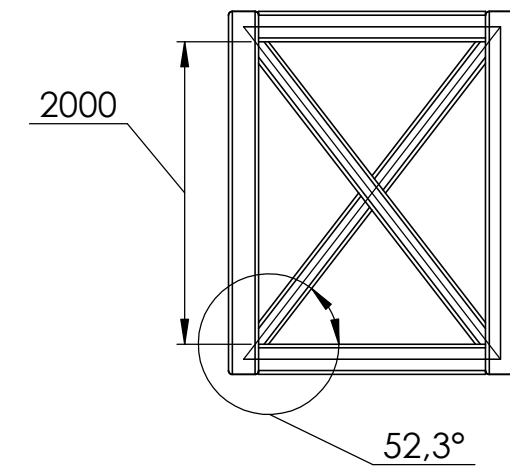
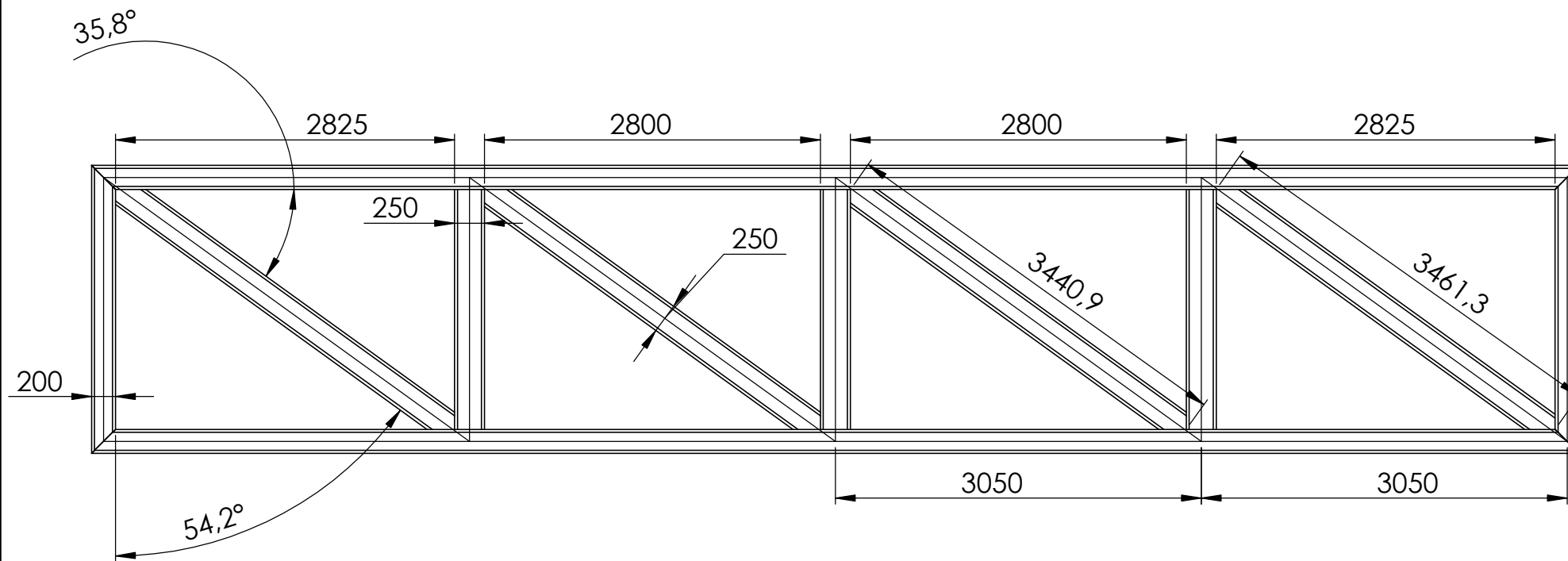
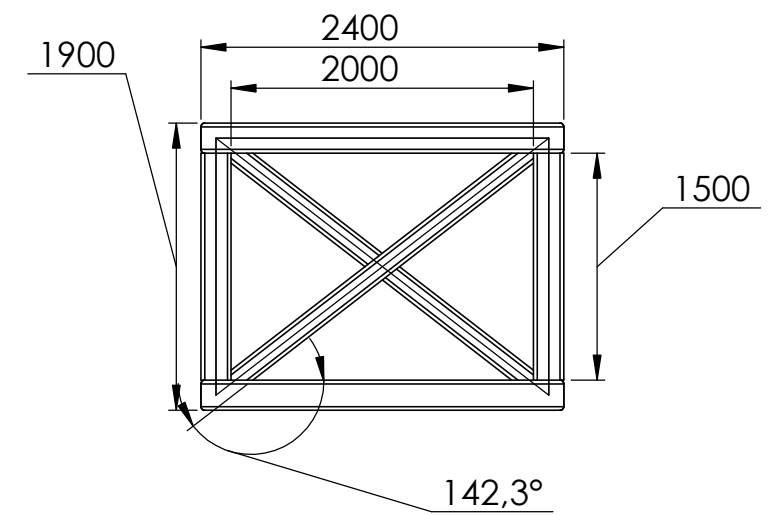
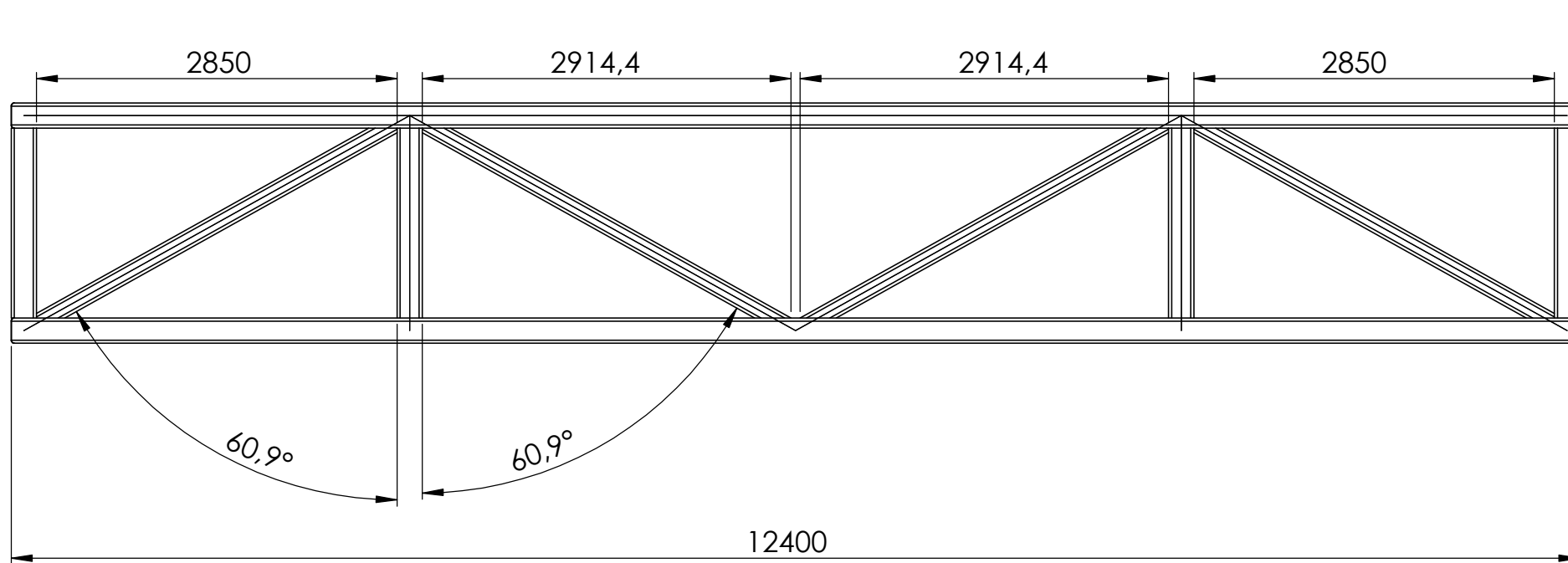


KOMMENTAR: Alt sveises med 7 mm kilsveis, i riktig rekkefølge ihht. sammensetningstegningen, bortsett fra hovedrammen som får en 45 graders vinkel. Der må sveiseren fuge og benytte en v sveis på 7 mm.	KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard			TITLE:	LØFTEKURV P 20 TONN		
	LENGDE:	12 400						
	MATERIALE:	S 355 J2H			DWG NO.	Sveis		A3
	ANTALL:	1						
	VEKT:	5895 kg			SCALE: 1:20	SHEET 3 OF 17		

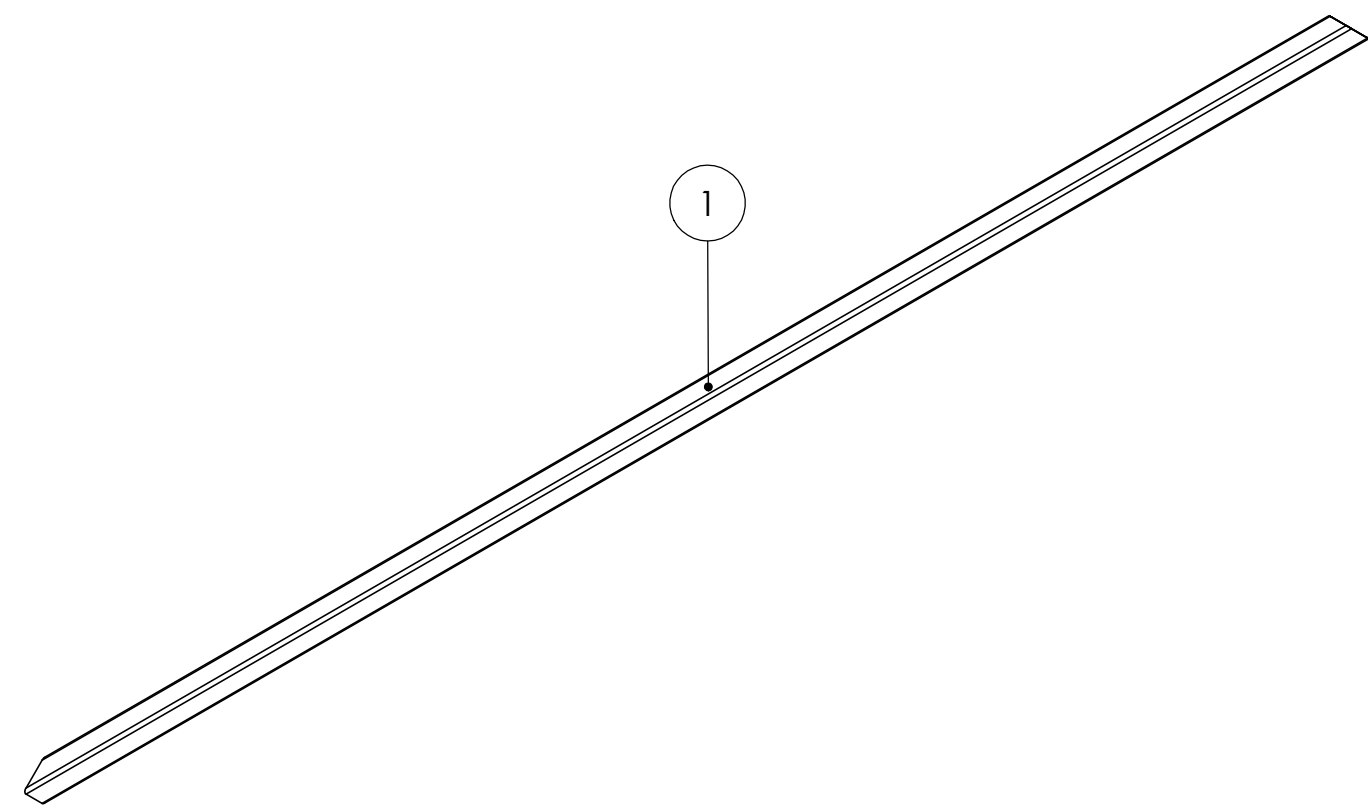
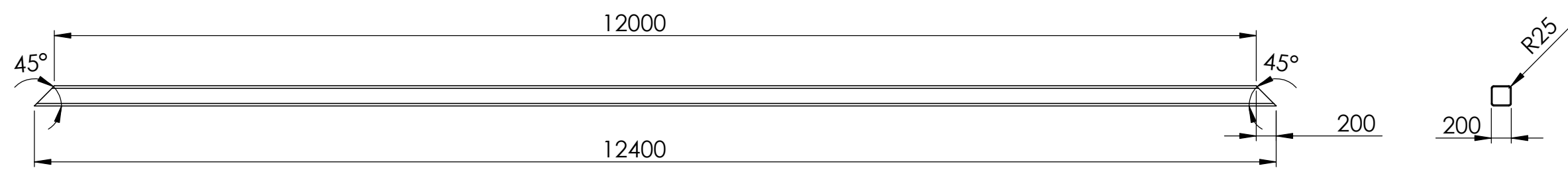


DETAIL H
SCALE 1 : 5

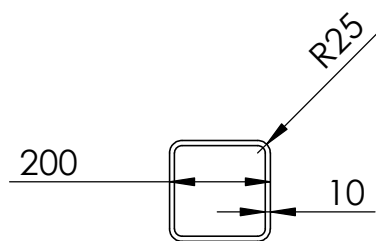
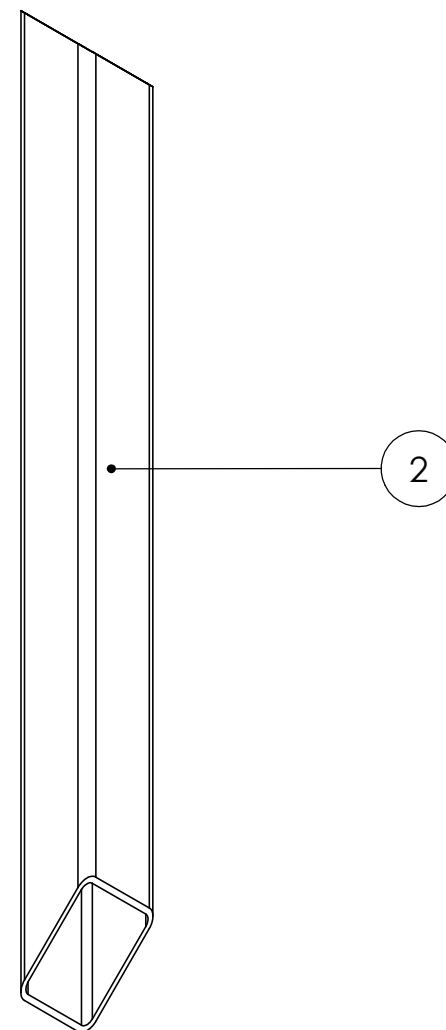
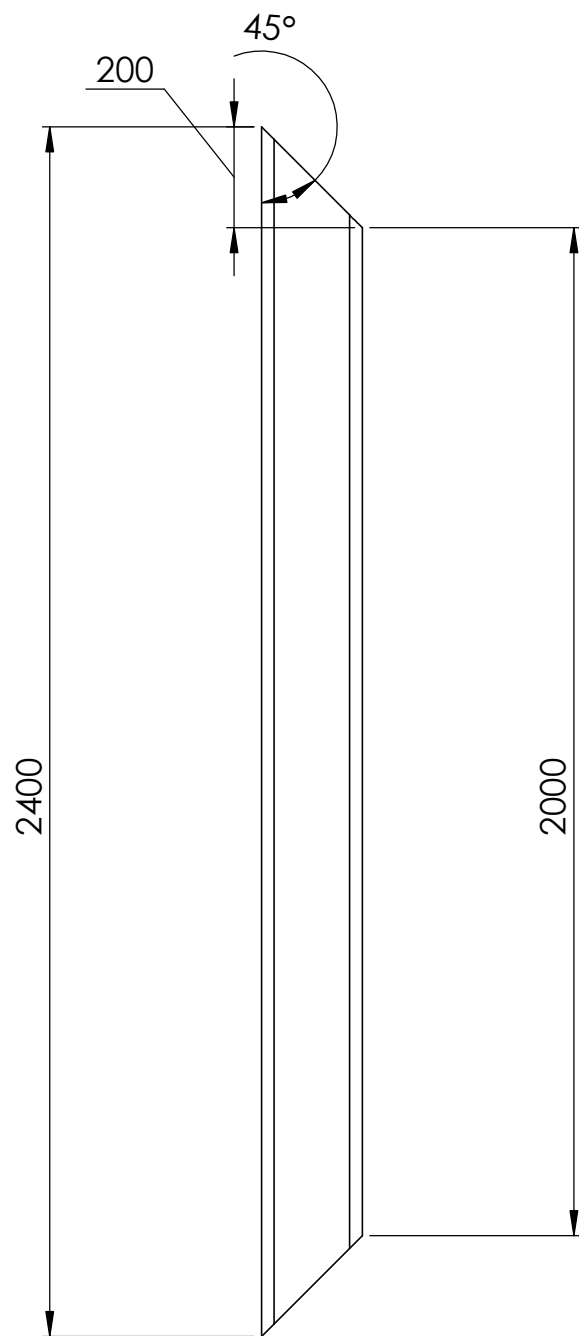
KOMMENTAR: Platen sveises med 7 mm kilsveis til profilet. Cheekplatene sveises med 5 mm kilsveis. Løfteøret sveises til platen med en kraftig k-sveis med 45 grader vinkel.	KONSTRUKTØR: Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
	LENGDE:	DWG NO. Sveis	
	MATERIALE: S 355 J2H		
	ANTALL: 4	SCALE: 1:20	
	VEKT:		
		SHEET 4 OF 17	



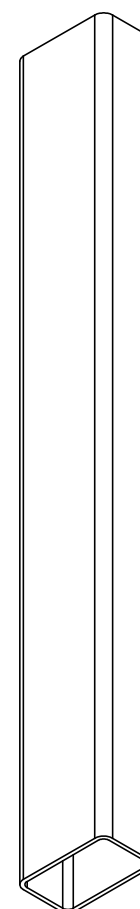
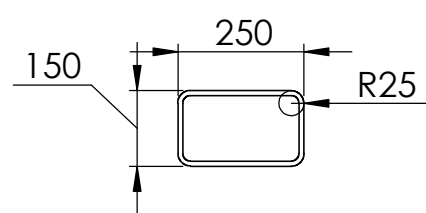
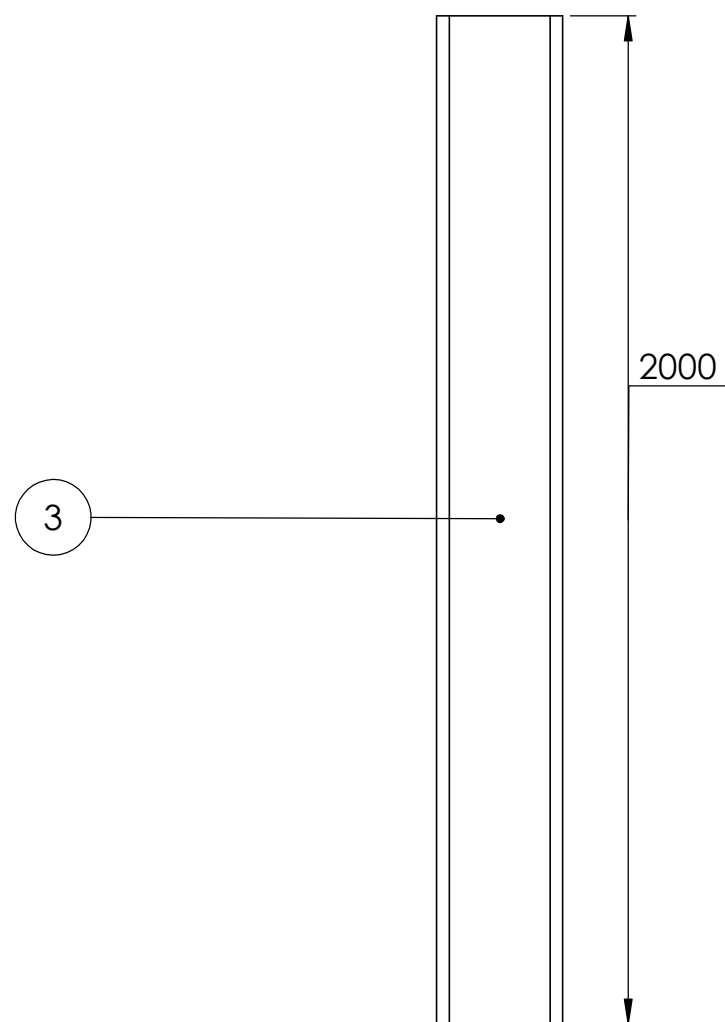
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	12 400	DWG NO. Løftekurv	
MATERIALE:	S355 J2H	A3	
ANTALL:	1	SCALE: 1:20	
VEKT:	5 895 kg	SHEET 5 OF 17	



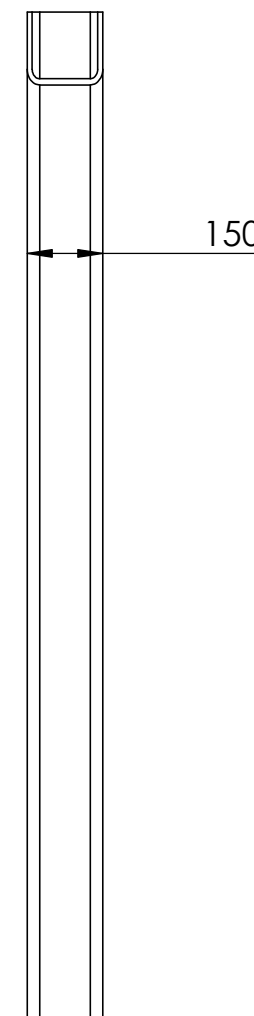
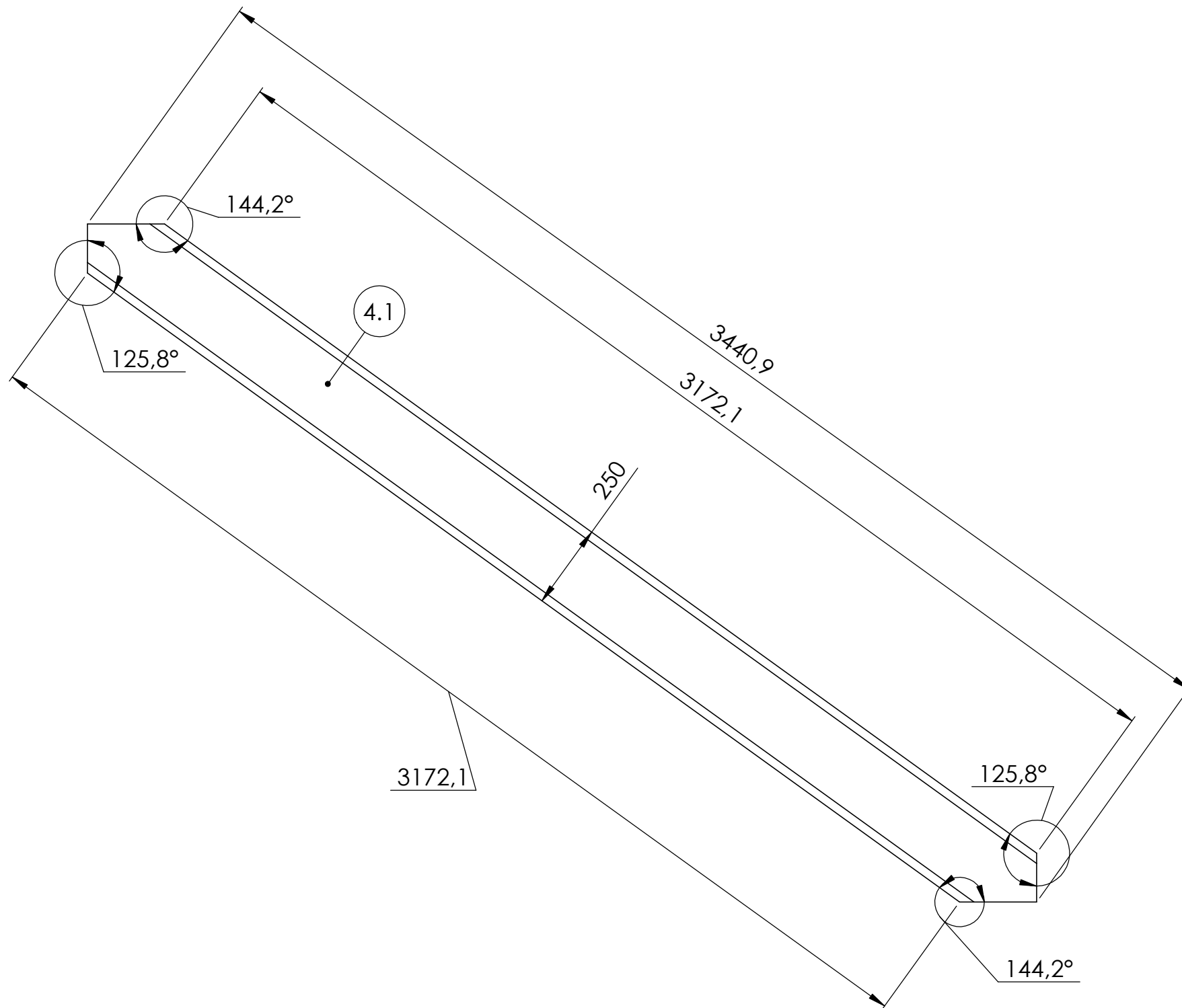
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	12400		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. Lang: (1)	A3
ANTALL:	4		
VEKT PR DEL:	695,4 kg	SCALE:1:20	SHEET 6 OF 17



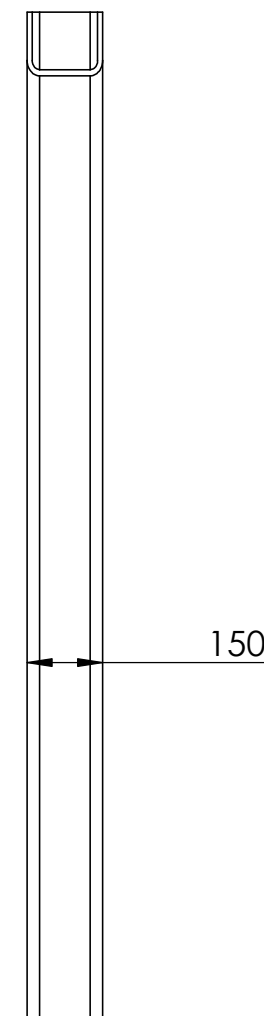
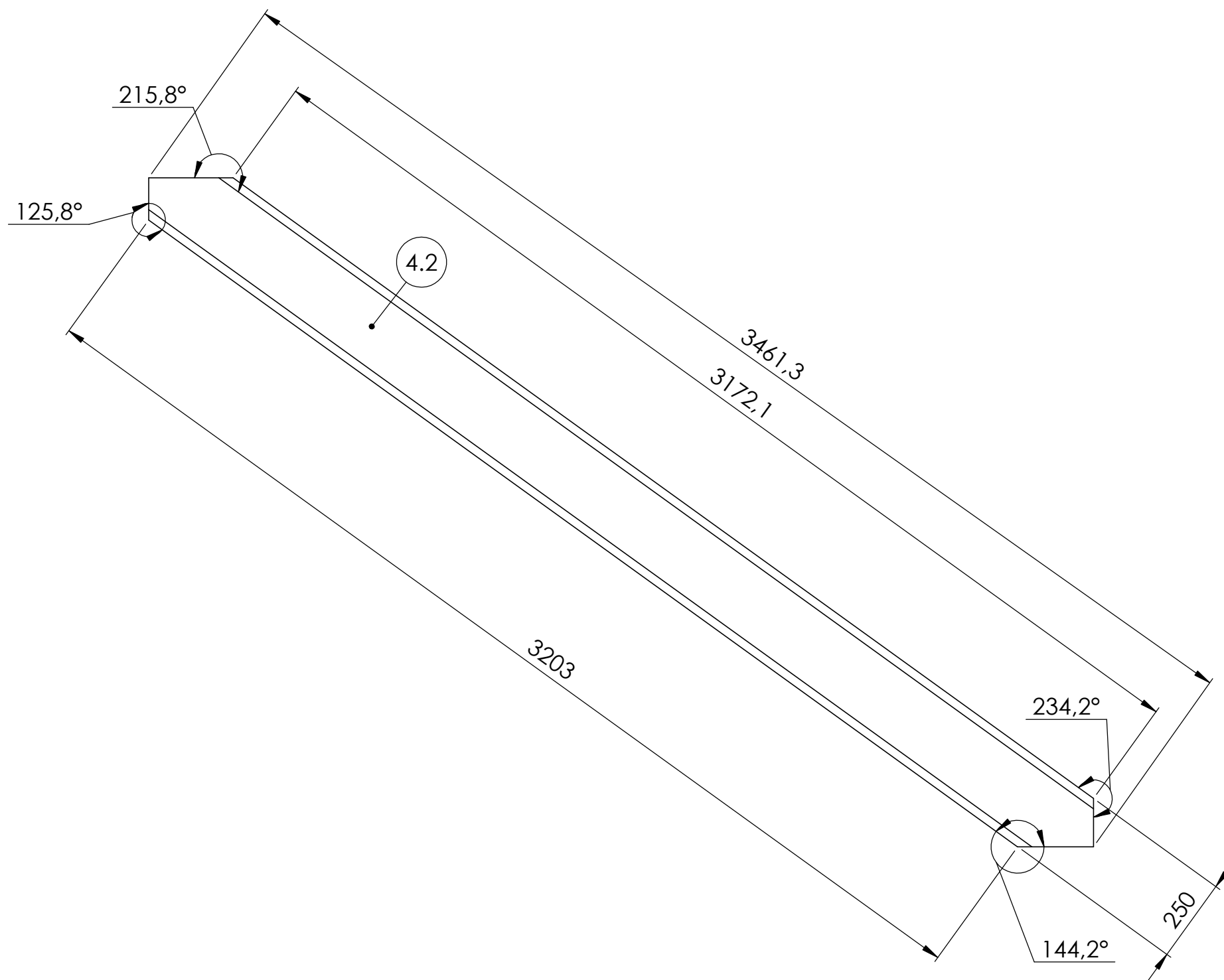
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	2400		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. Bredde: (2)	A3
ANTALL:	4		
VEKT PR DEL:	125,4 kg	SCALE:1:20	SHEET 7 OF 17



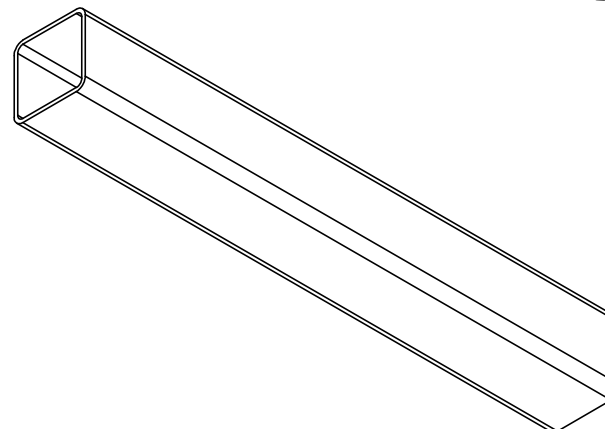
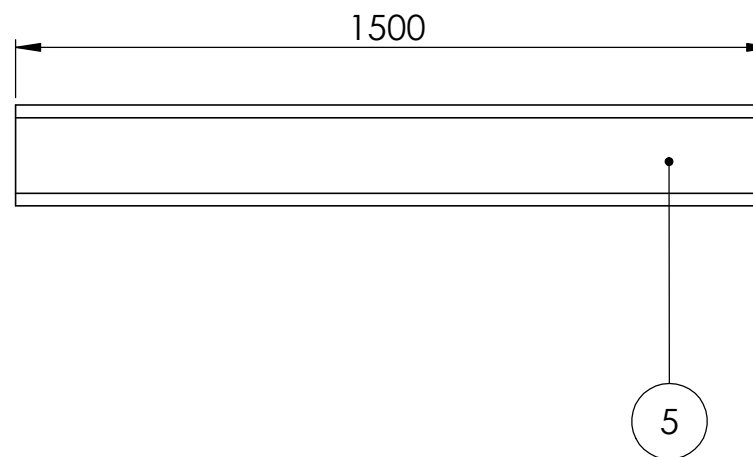
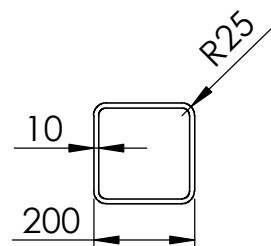
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	2000		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. 150x250.rett.(3)	A3
ANTALL:	3		
VEKT PR DEL:	114 kg	SCALE:1:15	SHEET 8 OF 17



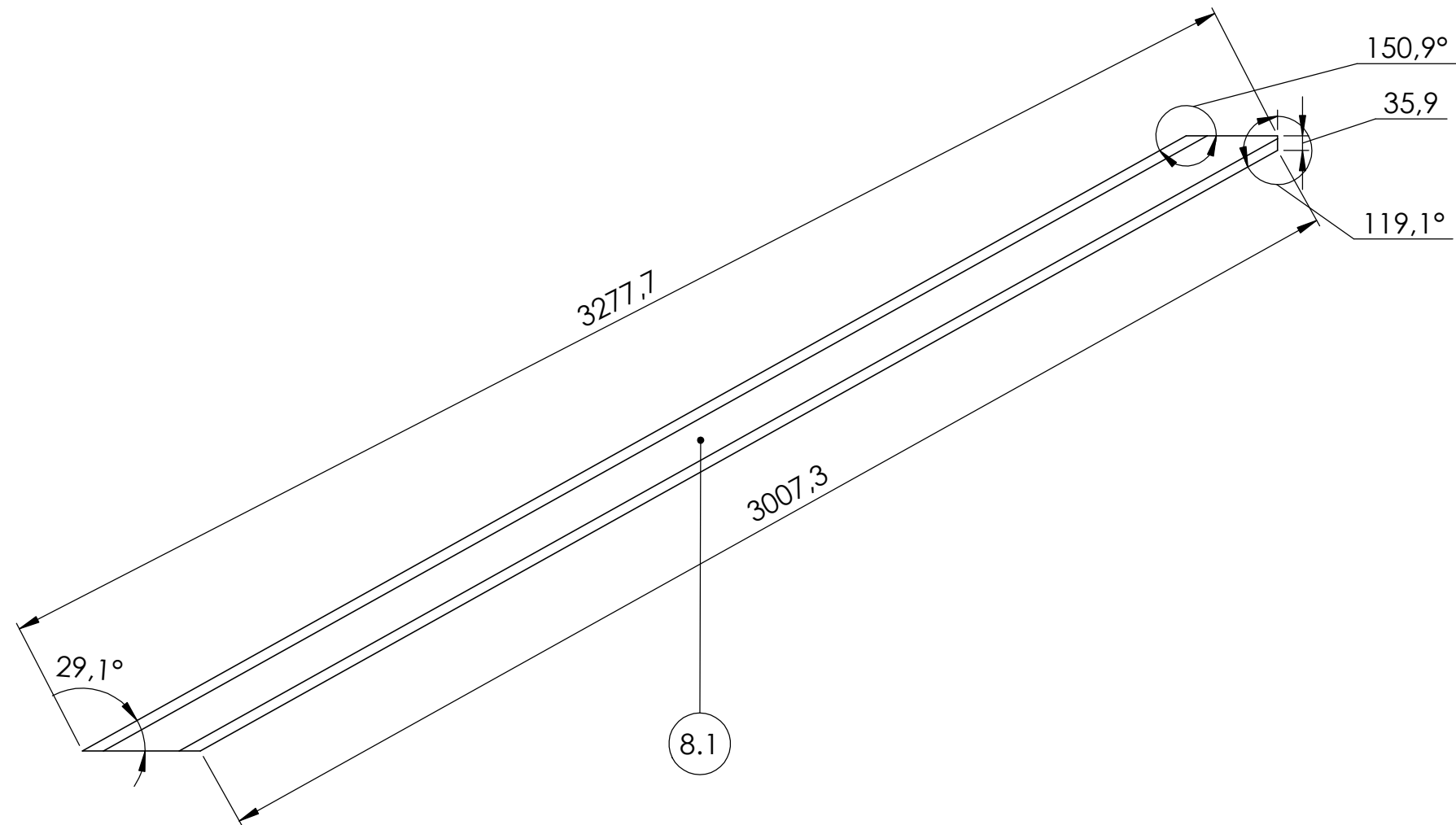
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	3440,9		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. 150x250.(4.1)	A3
ANTALL:	2		
VEKT PR DEL:	196,1kg	SCALE:1:15	SHEET 9 OF 17



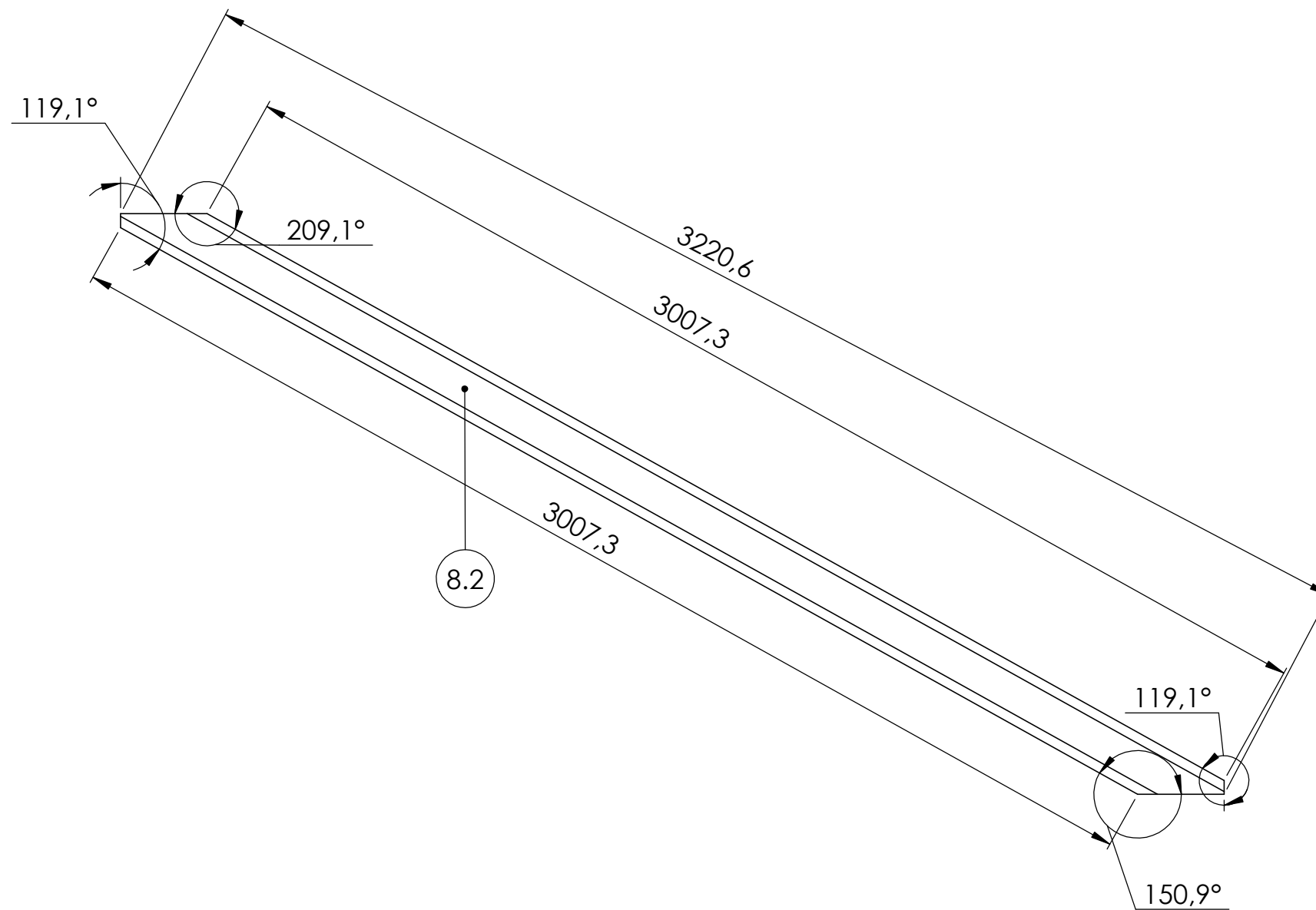
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	3461,3		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. 150x250.(4.2)	A3
ANTALL:	2		
VEKT PR DEL:	197,3 kg	SCALE:1:15	SHEET 10 OF 17



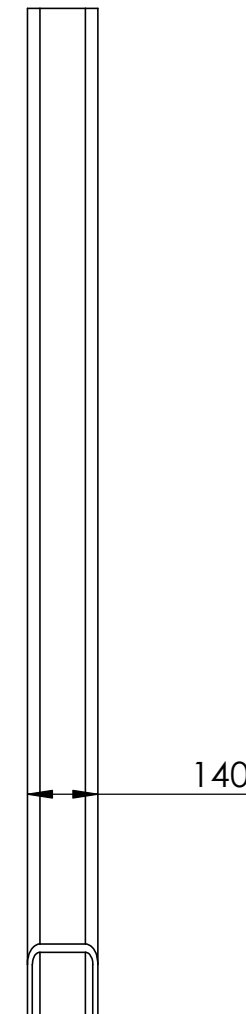
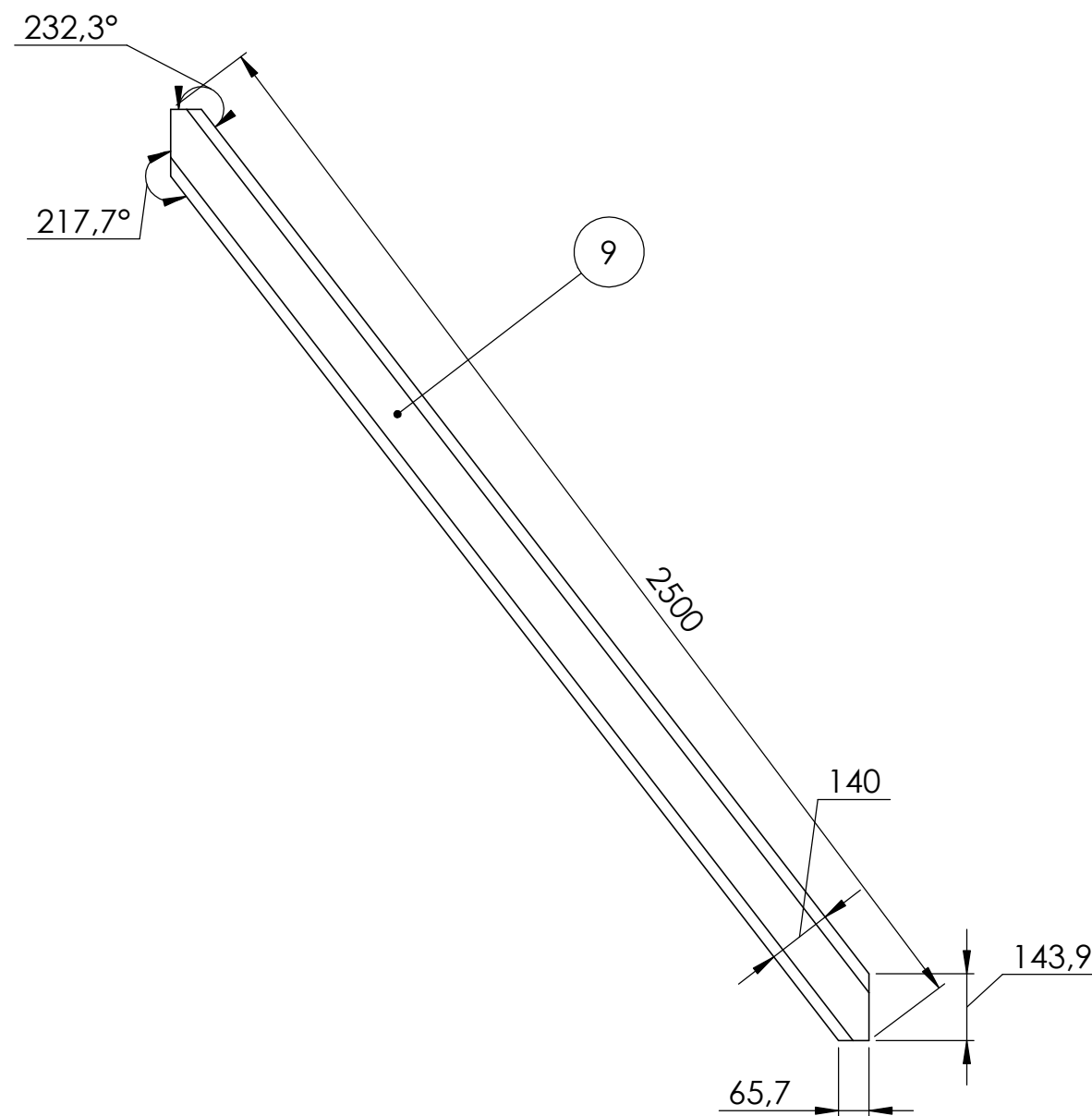
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	1500		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. Vertikale.(5)	A3
ANTALL:	8		
VEKT PR DEL:	85.5 kg	SCALE:1:15	SHEET 11 OF 17



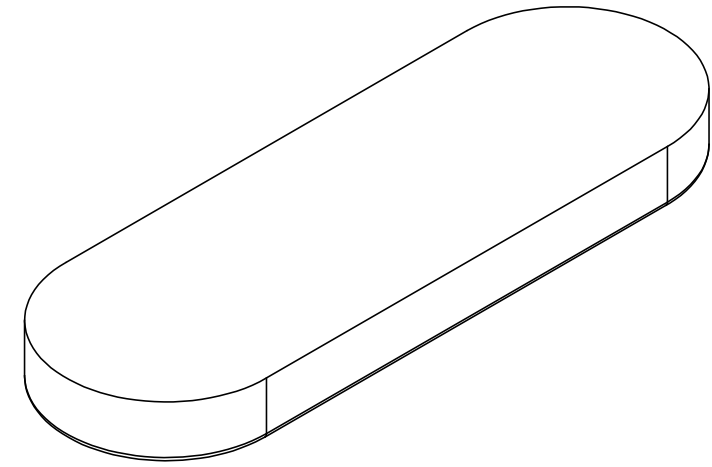
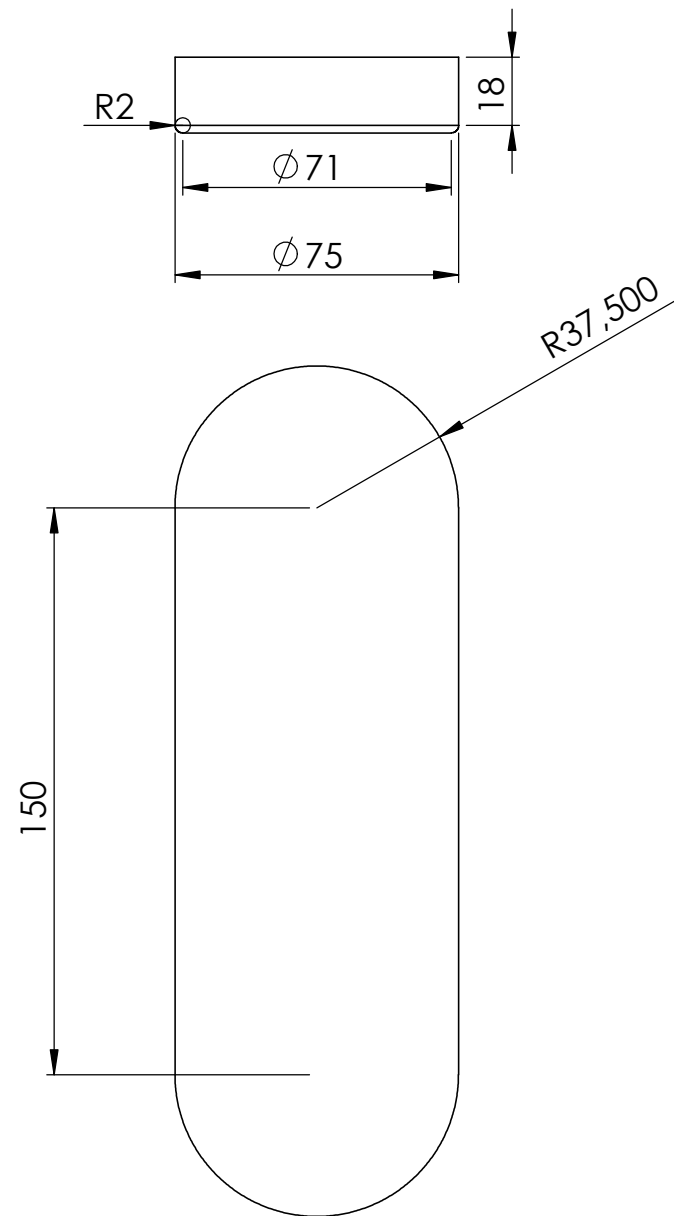
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	3277.7		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. 140x140.(8.1)	A3
ANTALL:	4		
VEKT PR DEL:	124.8	SCALE:1:15	SHEET 12 OF 17



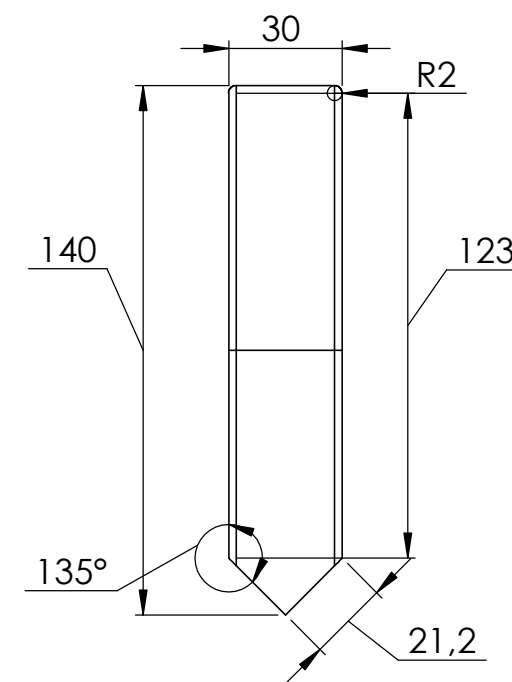
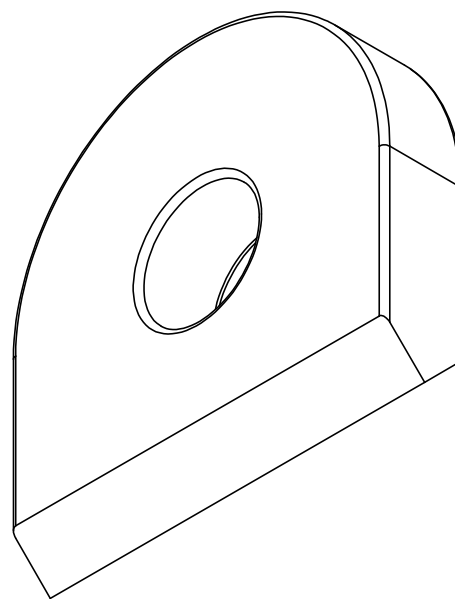
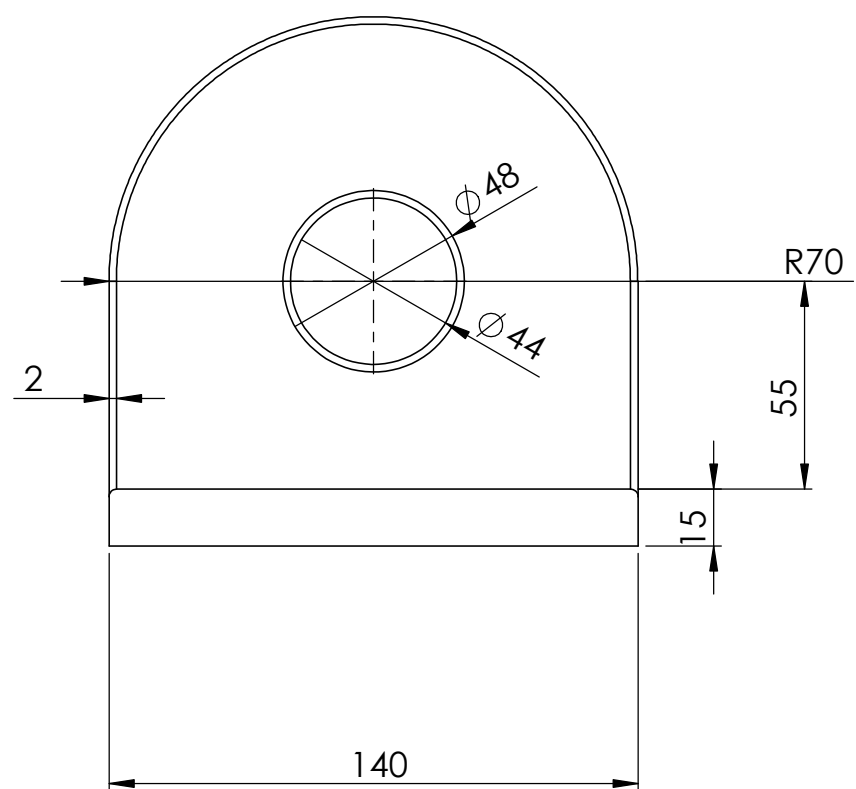
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	3220.6		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. 140x140.(8.2)	A3
ANTALL:	4		
VEKT PR DEL:	122.7	SCALE:1:15	SHEET 13 OF 17



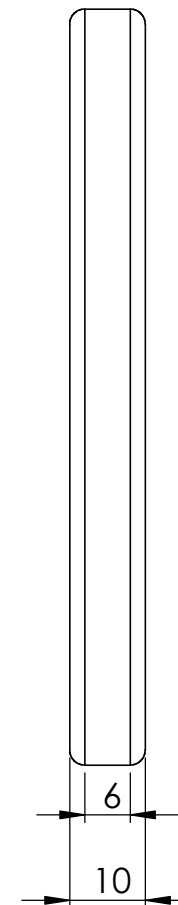
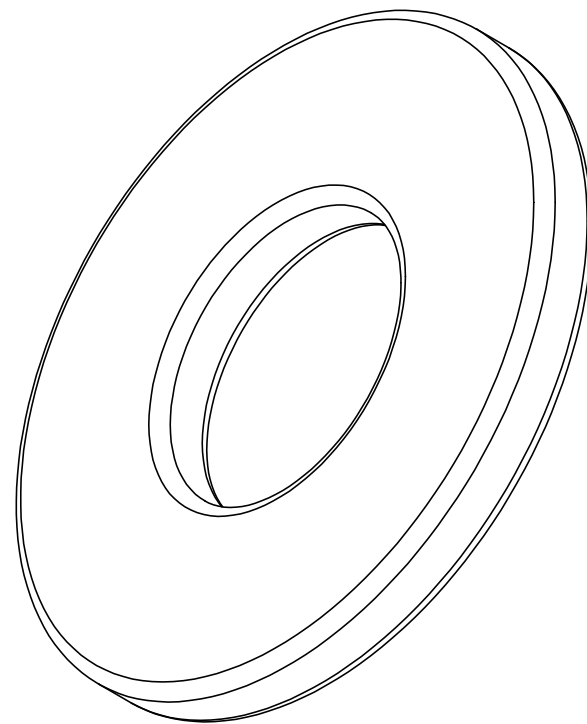
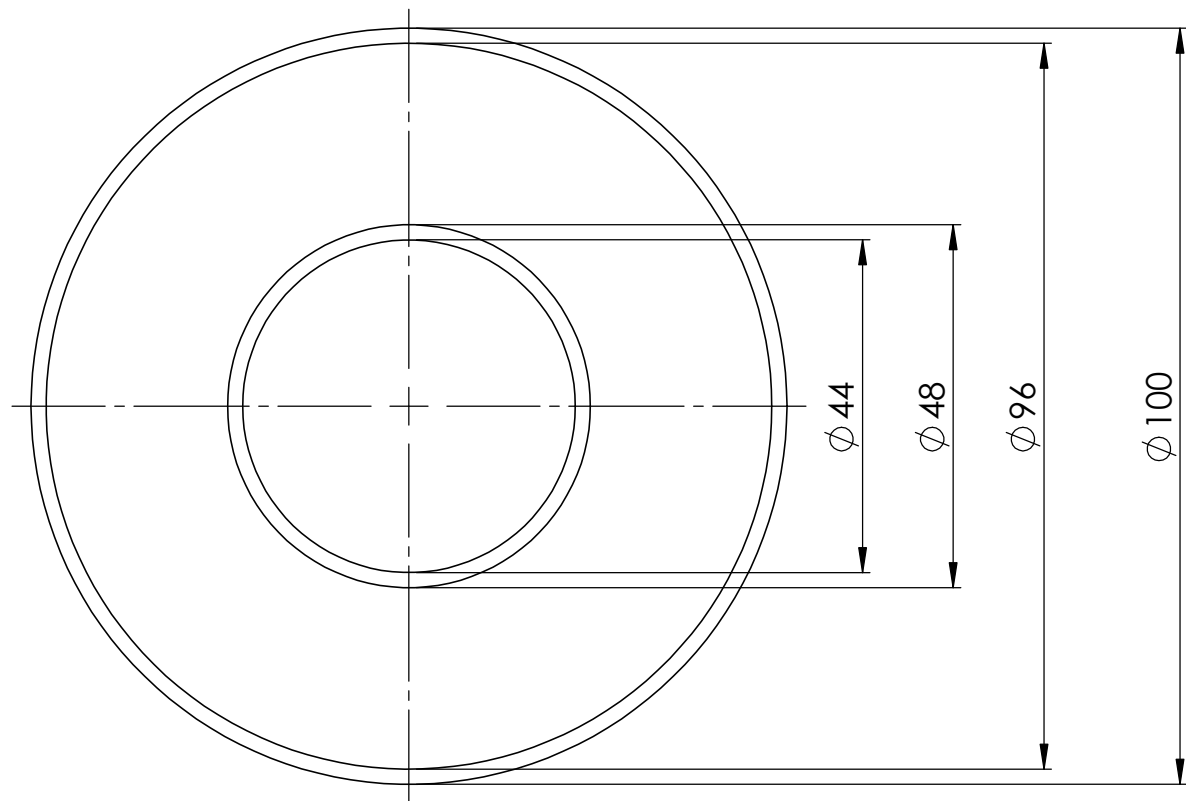
KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	2500		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. 140x140.(9)	A3
ANTALL:	2		
VEKT PR DEL:	95,25	SCALE:1:15	SHEET 14 OF 17



KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	225		
MATERIALE:	S 355 J2H	DWG NO. Plate(P)	A3
ANTALL:	4		
VEKT PR DEL:	4,54	SCALE:1:2	SHEET 15 OF 17



KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	140	DWG NO. LØFTEØRET(L)	
MATERIALE:	S 355 J2H		
ANTALL:	4	A3	
VEKT PR DEL:	1.81kg	SCALE:1:2	SHEET 16 OF 17



KONSTRUKTØR:	Magnus Møllegaard	TITLE: LØFTEKURV P 20 TONN	
LENGDE:	-	DWG NO. Cheeks (C)	
MATERIALE:	S 355 J2H		
ANTALL:	4	A3	
VEKT PR DEL:	0.5 kg	SCALE:1:1	SHEET 17 OF 17